উচ্চ-মাধ্যমিক পদার্থ-বিদ্যা

প্রথম খণ্ড

(নবম ও দশম শ্রেণীর পাঠ্য)

শ্রীজ্ঞানেন্দ্রনাথ সেন, এম. এস্. সি.,

প্রাক্তন প্রধান অধ্যাপক, বেলুড় বিদ্যামন্দির ; প্রাক্তন অধ্যাপক
সিটি কলেজ, কলিকাতা ; বি. এম. কলেজ, বরিশাল এবং
এ. এম. কলেজ, ময়মনসিংহ ; প্রাক্তন প্রধান পরীক্ষক,
কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়।

এবং

শ্রীশৈলেন্দ্রনাথ সেনগুপ্ত, ডি. ফিল.,

গবেষক, সাহা ইন্‌সটিটিউট, কলিকাতা।

প্রণীত

কে. পি. বসু পাবলিশিং কোং

৪২নং বিধান সরণী, কলিকাতা-৬

প্রকাশক : শ্রীজয়ন্ত বসু, বি.এ.
৪২নং বিধান সরণী, কলিকাতা-৬

মুদ্রাকর : শ্রীত্রিদিবেশ বসু
কে. পি. বসু প্রিন্টিং ওয়ার্কস
১১, মহেন্দ্র গোস্বামী লেন, কলিকাতা-৬

ভূমিকা

মাতৃভাষার মাধ্যমে বিজ্ঞানের প্রাথমিক পাঠের প্রয়োজনীয়তা সর্ববাদিসম্মত। কিন্তু এখন পর্যন্ত কোন প্রদেশেই বিজ্ঞানের ভাষা যথাযথভাবে গঠিত না হওয়ায় বিজ্ঞানের বিষয়বস্তুগুলি আলোচনাকালে অধিকাংশ ক্ষেত্রে ইংরাজীভাষার অনুবাদের আশ্রয় লইতে হয় এবং উহা তেমন সুখপাঠ্য হয় না। গ্রন্থকারদ্বয় বিশেষভাবে চেষ্টা করিয়াছেন যাহাতে ঐ প্রকারের অসুবিধা বহুল পরিমাণে দূরীভূত হইয়া শিক্ষার্থীদের নিকট পুস্তকখানি সহজবোধ্য হয় এবং মধ্যশিক্ষা-পর্ষদের অনুমোদিত পাঠ্যসূচী অনুযায়ী উহা পূর্ণাঙ্গ হয়। এই প্রচেষ্টা কতদূর সফল হইয়াছে তাহা ছাত্রদের ও শিক্ষক-মহোদয়গণের বিবেচনাধীন। পুস্তকের দ্বিতীয় খণ্ডের পরিশিষ্টে 'বিষয়গত প্রশ্নাবলী' (Objective type of questions) আলোচিত হইল।

পুস্তকখানি প্রকাশনের মুখে শ্রদ্ধেয় ৺যতীন্দ্রনাথ রায় মহাশয়ের উৎসাহদানের কথা এবং পরম স্নেহের পাত্র ৺অধ্যাপক সুধীন্দ্র সেনগুপ্তের অক্লান্ত সাহায্যদানের কথা প্রতিনিয়ত অন্তর মথিত করিতেছে। আজ তাঁহারা জীবিত থাকিলে কতই না আনন্দ-বোধ করিতেন!

উপসংহারে গ্রন্থকারদ্বয় শুভানুধ্যায়ী শ্রীযুক্ত ত্রিদিবেশ বসু মহাশয় এবং পরম স্নেহভাজন ও এই গ্রন্থের প্রকাশক শ্রীমান্ জয়ন্ত বসুকে পুস্তকখানি তৎপরতার সহিত প্রকাশনের সুযোগ দেওয়ায় আন্তরিক ধন্যবাদ জ্ঞাপন করিতেছে। পাণ্ডুলিপি প্রস্তুতকালীন শ্রীযুত রণজিৎ সিংহ মহাশয়ের অকৃপণ সহযোগিতা বিশেষভাবে ধন্যবাদার্হ।

খলিসাকোটা পল্লী,
কলিকাতা—১১
নভেম্বর, ১৯৫৯।

জে. এন. সেন।
এস. এন. সেনগুপ্ত।

স্বর্গীয় অধ্যাপক সুধীন্দ্রনাথের
পবিত্র স্মৃতিকল্পে—

বিষয়-সূচী (Subject-Contents)

পৃষ্ঠা

সূচনা ... ... ১—৫

জড় এবং জড়বস্তু সম্পর্কে ধারণা ; জড়বস্তুর বিভিন্ন অবস্থা ; শক্তি সম্পর্কে ধারণা ; বিভিন্ন প্রকারের শক্তি ; পদার্থ-বিদ্যার বিভিন্ন বিভাগ ; পদার্থের সাধারণ ধর্মের সংক্ষিপ্ত আলোচনা।

সাধারণ পদার্থ-বিজ্ঞান (General Physics)

প্রথম পরিচ্ছেদ : প্রাকৃতিক রাশি এবং উহাদের মাপের একক ৬—১৮

1·1. প্রাকৃতিক রাশি—স্কেলার রাশি ও ভেক্টর রাশি ; 1·2. রাশি মাপিবার একক ; 1·3. এককের বিভিন্ন পদ্ধতি—যথা, (1) সি. জি. এস্., (2) এফ্. পি. এস্. এবং (3) এম্. কে. এস্. ; 1·4. বিভিন্ন মূল এককের সংজ্ঞা ; 1·5. দৈর্ঘ্য মাপিবার ব্যবহারিক একক ; 1·6. ভর মাপিবার ব্যবহারিক একক ; 1·7. সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতির এককসমূহের পারস্পরিক সম্পর্ক ; 1·8. ক্ষেত্রফলের, আয়তনের এবং ঘনত্বের একক ; 1·9. সি. জি. এস্. বা মেট্রিক পদ্ধতির সুবিধা।

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল এবং আয়তন মাপিবার পদ্ধতি ১৯—৩৪

2·1. দৈর্ঘ্যের পরিমাপে বিভিন্ন যন্ত্র ব্যবহৃত হয় ; 2·2. মিটার স্কেল—উহার ব্যবহার ; 2·3. ভার্নিয়ার স্কেল—ভার্নিয়ার-ধ্রুবক নির্ণয়-পদ্ধতি এবং ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে দৈর্ঘ্য মাপিবার পদ্ধতি ; 2·4. স্লাইড ক্যালিপার্স—উহার কার্যপদ্ধতি ; 2·5. স্ক্রু-গেজ—উহার পিচ ও লঘিষ্ঠ ধ্রুবক এবং কার্যপদ্ধতি ; 2·6. স্ফেরোমিটার—উহার কার্য-পদ্ধতি ; 2·7-2·9. ক্ষেত্রফল নির্ণয়ের আলোচনা ও কার্যপদ্ধতি ; 2·10-2·12. আয়তন নির্ণয়ের আলোচনা ও কার্যপদ্ধতি।

তৃতীয় পরিচ্ছেদ : ভর, ভার এবং ঘনত্ব মাপিবার পদ্ধতি ... ৩৫—৪৪

3·1. ভর ও ভার ; 3·2. ভর নির্ণয়-পদ্ধতি ; 3·3-3·4. সূক্ষ্ম তুলার বিবরণ ও উহার সাহায্যে ভর নির্ণয় ; 3·5. একটি ভালো তুলার আবশ্যকীয় গুণাবলী ; 3·6. স্প্রিং-তুলা ; 3·7. সাধারণ তুলা এবং স্প্রিং-তুলার তুলনা ; 3·8-3·10. বস্তুর ঘনত্ব ও উহার নির্ণয়-পদ্ধতি।

পৃষ্ঠা

চতুর্থ পরিচ্ছেদ : সময় মাপিবার পদ্ধতি ... ... ৪৫—৪৯

4·1. সময় পরিমাপের নীতি; 4·2. বালি-ঘড়ি; 4·3. সূর্য-ঘড়ি; 4·4. সময় নির্ণয়ে গ্যালিলিওর দোলন-নীতি; 4·5. মেট্রোনোম; 4·6.-4·8. দেওয়াল-ঘড়ি ইত্যাদি।

পঞ্চম পরিচ্ছেদ : কোণ মাপিবার পদ্ধতি ... ... ৫০—৫২

5·1. কোণের একক; 5·2. চাঁদার সাহায্যে কোণ মাপিবার পদ্ধতি; 5·3. কৌণিক ভার্নিয়ারের সাহায্যে কোণ মাপিবার পদ্ধতি।

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ : কয়েকটি আবশ্যকীয় রাশির প্রাথমিক আলোচনা ৫৩—৫৭

6·1. সরণ ও উহার একক; 6·2. দ্রুতি ও উহার একক; 6·3. বেগ ও উহার একক; 6·4. ত্বরণ ও উহার একক; 6·5. অভিকর্ষজ ত্বরণ; 6·6. বল ও উহার একক; 6·7. ওজন ও উহার একক; 6·8. কার্য ও উহার একক; 6·9. শক্তি; 6·10. চাপ ও উহার একক; 6·11. ঘাত ও উহার একক; 6·12. ঘাত এবং চাপের পারস্পরিক সম্পর্ক; 6·13. কোন বিন্দুতে তরলের চাপ।

উদস্থিতি-বিদ্যা

সপ্তম পরিচ্ছেদ : তরলের চাপ ও আনুষঙ্গিক ধর্ম ... ৬১—৭৬

7·1. তরল ও গ্যাস সম্পর্কে সাধারণ আলোচনা; 7·2.-7·4. তরলের চাপ ও গাণিতিক সঙ্কেতে উহার পরিমাণ নির্ণয়; 7·5. তরল চাপের বৈশিষ্ট্যের বিভিন্ন পরীক্ষা; 7·6. স্থির তরলের উপরিস্থিত তলের অনুভূমিক অবস্থানের প্রমাণ; 7·7. পরস্পর-সংযুক্ত পাত্রে তরলের একই তলে অবস্থানের পরীক্ষা; 7·8. সংযুক্ত পাত্রে তরলের একই অবস্থানের ব্যবহারিক প্রয়োগ—যথা, আর্টেজীয় কূপ, শহরে জল-সরবরাহের ব্যবস্থা ইত্যাদি।

অষ্টম পরিচ্ছেদ : তরলের চাপ-সঞ্চালন এবং আনুষঙ্গিক আলোচনা ... ... ৭৭—৮৬

8·1. পাস্কালের সূত্র ও উহার যথার্থতা নির্ণয়ের বিভিন্ন পরীক্ষা; 8·2. ঘাতবৃদ্ধির মূলনীতি; 8·3. ঘাতবৃদ্ধির ব্যবহারিক প্রয়োগ—যথা, হাইড্রলিক প্রেস, গ্যারেজ লিফ্‌ট্, উদক হাপর ইত্যাদি।

পৃষ্ঠা

নবম পরিচ্ছেদ : ভাসমান বস্তু সম্পর্কে আলোচনা এবং আর্কিমিদিস-এর সূত্র ... ... ৮৭—১০৭

9·1. নিমজ্জিত বস্তুর উপর তরলের লব্ধিঘাত নির্ণয় ; 9·2. প্লবতা এবং প্লবতা-কেন্দ্র ; 9·3. তরলে পূর্ণ বা আংশিক নিমজ্জিত বস্তুর আপাত-ওজনহ্রাসের বিভিন্ন পরীক্ষা ; 9·4. বস্তুর তরলে ভাসন বা নিমজ্জনের আলোচনা ; 9·5. বস্তুর ভাসনের শর্তাবলী ; 9·6. ভাসন-নীতির বিভিন্ন ব্যবহারিক উদাহরণ—যথা, বরফ জলে ভাসা, জাহাজ-ভাসা, সাঁতার-কাটা, কার্টেজীয় ডুবুরি, ডুবোজাহাজ ইত্যাদি ; 9·7. আর্কিমিদিস-এর সূত্র ও উহার প্রমাণ ; 9·8. আর্কিমিদিস-সূত্রের বিভিন্ন প্রয়োগ—যথা, কঠিন বস্তুর আয়তন নির্ণয়, বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয়, ধাতুর বিশুদ্ধতা নির্ণয়, আপেক্ষিক ঘনত্ব ও গুরুত্ব নির্ণয় ইত্যাদি।

দশম পরিচ্ছেদ : কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ১০৮—১৪১

10·1-10·2. আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা এবং উহার গাণিতিক সঙ্কেতে প্রকাশ ; 10·3. ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের পার্থক্য ; 10·4. আপেক্ষিক গুরুত্ব ও আপেক্ষিক ঘনত্বের সম্পর্ক ; 10·5. বিভিন্ন পদ্ধতিতে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ; 10·6. উদস্থৈতিক তুলার সাহায্যে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ; 10·7-10·9. নিকল্‌সন হাইড্রোমিটারের সাহায্যে কঠিন ও তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়, সাধারণ হাইড্রোমিটারের সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ; 10·10. আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে কঠিন ও তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ; 10·11. হেয়ার যন্ত্রের সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ; 10·12. U-নলের সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক ঘনত্ব এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় ; 10·13. U-নলের সাহায্যে দুইটি তরলের আপেক্ষিক ঘনত্ব বা আপেক্ষিক গুরুত্বের তুলনা ; 10·14. ভাসমান সুষম আকৃতির কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়।

গ্যাস-বিজ্ঞান

একাদশ পরিচ্ছেদ : তরল এবং গ্যাসীয় পদার্থের সাধারণ ধর্মের সাদৃশ্য ... ... ১৪২—১৪৭

11·1. গ্যাসে আর্কিমিদিস-এর সূত্র ; 11·2. ব্যারোস্কোপ পরীক্ষা ;

পৃষ্ঠা

11·3. বায়ুর প্লবতার কয়েকটি দৃষ্টান্ত—যথা, বেলুনের উঠানামা, ভল্‌টেয়ারের পরীক্ষা ইত্যাদি; 11·4. গ্যাসের ঘনত্ব; 11·5. বায়ুর ঘনত্ব নির্ণয়।

দ্বাদশ পরিচ্ছেদ : বায়ু বা বায়ুমণ্ডল ... ... ১৪৮—১৭৫

12·1. বায়ু সম্পর্কে সাধারণ আলোচনা; 12·2-12·3. বায়ুমণ্ডলের চাপ ও গাণিতিক সঙ্কেতে উহার পরিমাণ নির্ণয়; 12·4. বায়ুর চাপের অস্তিত্ব সম্পর্কে বিভিন্ন পরীক্ষা—যথা, রবারে পর্দা ফাটার পরীক্ষা, গ্লাস ও কার্ডের পরীক্ষা, টিনের পাত্রদুমড়ানো পরীক্ষা, ম্যাগডেবার্গ গোলক পরীক্ষা এবং ব্লাডার-স্ফীতি পরীক্ষা; 12·5. টরিসেলির পরীক্ষা—বাতাসের চাপের পরিমাণ নির্ণয়, টরিসেলির বিকল্প পরীক্ষা; 12·6. টরিসেলি পরীক্ষার বিবিধ আলোচনা; 12·7. সমসত্ব বায়ুমণ্ডল; 12·8. বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ এবং উহার সংজ্ঞা; 12·9. বিভিন্ন এককে বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাণ নির্ণয়; 12·10. ফর্টিনের ব্যারোমিটার এবং উহার পাঠের পদ্ধতি, অনার্দ্র ব্যারোমিটার; 12·11. ব্যারোমিটারের সাহায্যে আবহাওয়ার পূর্বাভাষ; 12·12. ঘূর্ণবাত ও প্রতীপ ঘূর্ণবাত; 12·13-12·14. বয়েলের সূত্র ও পরীক্ষার সাহায্যে উহার সত্যতা নির্ণয়।

ত্রয়োদশ পরিচ্ছেদ : বায়ুর চাপসাপেক্ষ বিবিধ যন্ত্র ... ১৭৬—১৯০

13·1. Wash bottle; 13·2. পিচকারী; 13·3. সাইফন; 13·4. ট্যান্টালসের তৃষ্ণার্ত বাটি; 13·5. ফ্লাসিং সিস্‌টারন্; 13·6. জলতোলার সাধারণ পাম্প; 13·7. উর্ধ্বে জল উঠাইবার পাম্প; 13·8. জল-উৎক্ষেপী পাম্প; 13·9. বায়ু-নিষ্কাশন পাম্প; 13·10. সংনমন-পাম্প।

তাপ-বিজ্ঞান

প্রথম পরিচ্ছেদ : প্রাথমিক আলোচনা ... ... ১৯৩—১৯৭

1·1. তাপ; 1·2. উষ্ণতা বা তাপমাত্রা; 1·3. তাপের আদান-প্রদান; 1·4. তাপের প্রকৃতি; 1·5. তাপের ফলাফল; 1·6. তাপ ও উষ্ণতার পার্থক্য।

পৃষ্ঠা

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : থার্মমিতি ... ... ১৯৮—২১১

2·1. উষ্ণতা মাপিবার মূলনীতি ও থার্মোমিটার ; 2·2. উষ্ণতা মাপে ব্যবহার্য তরলের আবশ্যকীয় গুণাবলী ; 2·3. থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহারের সুবিধা ; 2·4-2·5. পারদ-থার্মোমিটারের বর্ণনা, উহার প্রস্তুত-প্রণালী এবং স্কেল নির্দেশ ; 2·6. নিম্নস্থিরাঙ্ক নিরূপণের পদ্ধতি ; 2·7. ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক নিরূপণের পদ্ধতি ; 2·8 থার্মোমিটার সম্পর্কে আলোচনা ; 2·9. সেন্টিগ্রেড স্কেল ও ফারেনহাইট স্কেলের সম্পর্ক ; 2·10. কোহল-থার্মোমিটার ; 2·11. সিক্সের গরিষ্ঠ ও লঘিষ্ঠ থার্মোমিটার ; 2·12. চিকিৎসায় ব্যবহৃত থার্মোমিটার।

তৃতীয় পরিচ্ছেদ : কঠিন পদার্থের প্রসারণ ... ... ২১২—২৩৭

3·1. সাধারণ আলোচনা ; 3·2. দৈর্ঘ্য-প্রসারণের বিভিন্ন পরীক্ষা—যথা, দণ্ড ও গেজ পরীক্ষা, দণ্ড-ভাঙ্গার পরীক্ষা ইত্যাদি ; 3·3. বিভিন্ন ধাতব পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণের বিভিন্নতার পরীক্ষা—যথা, দ্বিধাতব পাতের বক্রতা পরীক্ষা, ফার্গুসনের পরীক্ষা ইত্যাদি ; 3·4. বল ও আংটা পরীক্ষা ; 3·5. দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা এবং উহার ফরমূলায় প্রকাশ ; 3·6. ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা এবং উহার ফরমূলায় প্রকাশ ; 3·7. আয়তন-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা এবং উহার ফরমূলায় প্রকাশ ; 3·8. কঠিন পদার্থের α, β এবং γ এই তিনি প্রকার প্রসারণাঙ্কের পারস্পরিক সম্পর্ক ; 3·9. কঠিন পদার্থের ঘনত্ব ও আয়তন-প্রসারণাঙ্কের সম্পর্ক ; 3·10. দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের তালিকা ; 3·11. পুলিঞ্জার যন্ত্রের সাহায্যে কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয় ; 3·12. কঠিন বস্তুর প্রসারণের প্রত্যক্ষ ফলসমূহ (সুবিধা ও অসুবিধা) ; 3·13. বড় ঘড়ির প্রতিবিহিত ব্যবস্থা—হ্যারিসনের প্রতিবিহিত দোলক।

চতুর্থ পরিচ্ছেদ : তরল পদার্থের প্রসারণ ... ... ২৩৮—২৫৪

4·1. সাধারণ আলোচনা ; 4·2. আপাত ও প্রকৃত প্রসারণের সম্পর্ক ; 4·3. তরল পদার্থের প্রকৃত এবং আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক—উহাদের সংজ্ঞা—ফরমূলায় প্রকাশ ; 4·4. প্রকৃত ও আপাত প্রসারণাঙ্কের সম্পর্ক ; 4·5. বিভিন্ন পদ্ধতিতে তরল পদার্থের আপাত আয়তন-

পৃষ্ঠা

প্রসারণাঙ্ক নির্ণয়—ডাইলেটোমিটারের সাহায্যে এবং ভার-থার্মো-মিটারের সাহায্যে ; 4·6. ডুলং এবং পেটিট যন্ত্রের সাহায্যে তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক নিরূপণ ; 4·7. জলের ব্যতিক্রম প্রসারণ—উহার বিভিন্ন পরীক্ষা—যথা, ডাইলেটোমিটার-এর সাহায্যে, হোপ-এর যন্ত্রের সাহায্যে ; 4·8. জলের ব্যতিক্রম প্রসারণের প্রত্যক্ষ ফল ; 4·9. উষ্ণতা-পরিবর্তনে তরলের প্রসারণের কার্যকারিতা।

পঞ্চম পরিচ্ছেদ : গ্যাসের প্রসারণ ... .. ২৫৫—২৬৭

5·1. সাধারণ আলোচনা ; 5·2. গ্যাসের প্রসারণের বিভিন্ন পরীক্ষা ; 5·3. সম-আয়তনের বিভিন্ন গ্যাসের প্রসারণের পরীক্ষা ; 5·4. গ্যাস-প্রসারণের নিয়মাবলী ; 5·5. তাপমাত্রার চরম স্কেল ; 5·6. গ্যাস-সূত্রদ্বয়ের সমন্বয় ; 5·7. গ্যস-সূত্র সমন্বয়ের বিশ্লেষণ ; 5·8. গ্যাসের ঘনত্ব, চাপ এবং তাপমাত্রার পারস্পরিক সম্পর্ক ; 5·9. গ্যাসের আয়তন-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয়।

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ : ক্যালরিমিতি ... ... ২৬৮—২৯৫

6·1. ক্যালরিমিতি এবং তাপের বিভিন্ন একক ; 6·2. ব্রিঃ থাঃ একক এবং ক্যালরির মধ্যে সম্পর্ক ; 6·3. আপেক্ষিক তাপ—উহার সংজ্ঞা ; 6·4. গৃহীত অথবা বর্জিত তাপের পরিমাণ গাণিতিক সঙ্কেতে নির্ণয় ; 6·5. বস্তুর তাপগ্রাহিতার সংজ্ঞা ; 6·6. বস্তুর জল-সমের সংজ্ঞা ; 6·7. তাপগ্রাহিতা এবং জল-সমের সম্পর্ক ; 6·8. ক্যালরিমিতি গণনার মূল ভিত্তি ; 6·9. পরীক্ষা দ্বারা ক্যালরিমিটারের জল-সম নির্ণয় ; 6·10-6·11. মিশ্রণ পদ্ধতিতে কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় ; 6·12. কয়েকটি পদার্থের আপেক্ষিক তাপের তালিকা ; 6·13. উচ্চতাপমাত্রা নির্ণয় ; 6·14. জলের আপেক্ষিক তাপ উচ্চ হইবার ফলাফল ; 6·15. লীন-তাপের অর্থ—গলনের লীন-তাপের সংজ্ঞা—তরলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ ; 6·16. মিশ্রণ পদ্ধতিতে বরফ-গলনের লীন-তাপ নির্ণয় ; 6·17. ব্ল্যাক-এর বরফ-ক্যালরিমিটারের বিভিন্ন ব্যবহার।

সপ্তম পরিচ্ছেদ : বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন—কঠিন হইতে তরলে ২৯৬—৩০৬

7·1. প্রাথমিক আলোচনা ; 7·2. পদার্থের গলন এবং গলনাঙ্ক ; 7·3. কঠিন পদার্থের গলনাঙ্ক নির্ণয়—কৈশিক নলের সাহায্যে—উষ্ণ

পৃষ্ঠা

ও শীতল লেখচিত্রের সাহায্যে ; 7·4. তরল পদার্থের কঠিনীভবন এবং হিমাঙ্ক ; 7·5-7·6. গলন এবং কঠিনীভবনে পদার্থের আয়তনের পরিবর্তন এবং উহার সুবিধা ও অসুবিধা ; 7·7. গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব—মাউসন-এর পরীক্ষা ; 7·8. পুনঃশিলীভবন—বটমলি-র পরীক্ষা ইত্যাদি ; 7·9. হিমমিশ্রণ ও তাপমাত্রা হ্রাস ; 7·10. গলনের নিয়ম।

অষ্টম পরিচ্ছেদ : বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন—তরল হইতে বাষ্পে ৩০৭—৩১৬

8·1. তরলের বাষ্পীয় অবস্থার রূপান্তর—স্ফুটন ও বাষ্পীভবন—স্ফুটন—স্ফুটনাঙ্ক ; 8·2. স্ফুটন ও স্ফুটনাঙ্কের পরীক্ষা ; 8·3. স্ফুটন-কালীন লীন-তাপ ; 8·4-8·5. বাষ্পীভবন—উহার দ্রুততা কিংবা মন্থরতা একাধিক বিষয়ের উপর নির্ভরশীল ; 8·6. স্ফুটন ও বাষ্পী-ভবনের পার্থক্য ; 8·7. দ্রুত বাষ্পীভবনে উষ্ণতা-হ্রাস—দ্রুত বাষ্পী-ভবনের সাহায্যে বরফ তৈয়ারী ; 8·8. তরলের স্ফুটনাঙ্কের উপর বিভিন্ন উপাদানের প্রভাব ; 8·9. স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাবের কয়েকটি পরীক্ষা—ফ্রাঙ্কলীন-এর পরীক্ষা, রেনো-র পরীক্ষা ; 8·10. তরলের উপরে চাপ স্ফুটনকালীন বাষ্পচাপের সমান—এই উক্তির সত্যতা প্রমাণ ; 8·11. স্ফুটনের নিয়মাবলী।

নবম পরিচ্ছেদ : সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্প ... ... ৩১৭—৩২৩

9·1· সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্প সম্পর্কে সহজ পরীক্ষা ; 9·2. সংপৃক্ত বাষ্পের বৈশিষ্ট্য ; 9·3. অসংপৃক্ত বাষ্পের বৈশিষ্ট্য ; 9·4. সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্পের প্রধান পার্থক্য।

দশম পরিচ্ছেদ : হাইগ্রোমিতি ... ... ৩২৪—৩৩৬

10·1. বাতাসে জলীয় বাষ্পের উপস্থিতি ; 10·2. বায়ুর শুষ্কতা ও আর্দ্রতা ; 10·3. হাইগ্রোমিতি সম্পর্কে কয়েকটি বিষয়ের আলোচনা—শিশিরাঙ্ক, চরম আর্দ্রতা, আপেক্ষিক আর্দ্রতা ; 10·4. হাইগ্রোমিটার—শিশিরাঙ্ক হাইগ্রোমিটার, রেনো-র হাইগ্রোমিটার, শুষ্ক ও আর্দ্র কুণ্ড হাইগ্রোমিটার ; 10·5. বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প ঘনীভবনে—শিশির, তুহিন, কুয়াশা, মেঘ, বৃষ্টি ইত্যাদির সৃষ্টি ; 10·6. আপেক্ষিক আর্দ্রতার প্রভাব ও প্রয়োজনীয়তা।

পৃষ্ঠা

একাদশ পরিচ্ছেদ : তাপ-সঞ্চালন ... ... ৩৩৭—৩৫৪

11·1. তাপ সঞ্চালন—পরিবহণ, পরিচলন এবং বিকিরণ ; 12·2. তাপ-পরিবহণের কয়েকটি পরীক্ষা—ডেভির নিরাপত্তা বাতি—জলের তাপ—কুপরিবাহিতার পরীক্ষা ; 11·3. তরলে তাপ-পরিচলনের পরীক্ষা ; 11·4. গ্যাসে তাপ-পরিচলনের পরীক্ষা ; 11·5. তাপ-বিকিরণের পরীক্ষা ; 11·6. বিকীর্ণ তাপ ও আলোকের মধ্যে সাদৃশ্য ; 11·7. তাপ-সঞ্চালন পদ্ধতি তিনটির তুলনামূলক আলোচনা ; 11·8. তাপ-পরিবাহিতা ও পরিবাহিতাঙ্ক—ফরমূলায় পরিবাহিতাঙ্ক নির্দেশ ; 11·9. ইনজেন্-হাউজ-এর পরীক্ষা ; 11·10. তাপ-পরিবহণের ব্যবহারিক ফলাফল ; 11·11. তাপ-পরিচলনের প্রয়োগ—বায়ু-চলাচল, ঘর গরম রাখার ব্যবস্থা, ইঞ্জিন শীতল রাখার ব্যবস্থা, সমুদ্র-বায়ু ও স্থল-বায়ু ; 11·12. ডেওয়ার ফ্লাস্ক ; 11·13. তাপের শোষণ, বিকিরণ এবং প্রতিফলন সম্পর্কে আলোচনা ।

আলোক-বিজ্ঞান

প্রথম পরিচ্ছেদ : প্রাথমিক আলোচনা ও আলোকের ঋজুগতি ৩৫৭—৩৬৬

1·1. আলোক ও উহার উৎস ; 1·2. আলোকের প্রকৃতি ; 1·3. আলোক-বিজ্ঞানের কয়েকটি সংজ্ঞা ; 1·4. আলোকরশ্মি ও তিন প্রকারের রশ্মিগুচ্ছের বিবেচনা ; 1·5. আলোকের গতির বেগ ; 1·6. আলোকের ঋজুগতি—উহার বিভিন্ন পরীক্ষা—কার্ডবোর্ড সাহায্যে পরীক্ষা—সূচি-ছিদ্র ক্যামেরার সাহায্যে আলোকের ঋজুগতির পরীক্ষা ; 1·7. গাছের তলায় আলোকের ছাপ ; 1·8. ছায়া, প্রচ্ছায়া এবং উপচ্ছায়া ।

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ : ছায়া-সংগঠন ও গ্রহণ ... ... ৩৬৭—৩৭৬

আলোক-প্রভবের সাহায্যে প্রতিবন্ধকের ছায়া সংগঠন ; 2·1. বিন্দু-আলোকপ্রভব এবং প্রতিবন্ধক ; 2·2. প্রতিবন্ধক বিস্তৃত প্রভব অপেক্ষা আকারে বড়—(i) প্রতিবন্ধক দণ্ডাকৃতির, (ii) প্রভব ও প্রতিবন্ধক উভয়ই গোলক আকৃতির ; 2·3. প্রভব প্রতিবন্ধক অপেক্ষা আকারে বড়—(i) প্রভব ও প্রতিবন্ধক উভয়ই রেখা আকৃতির, (ii) প্রভব ও প্রতিবন্ধক উভয়ই গোলক আকৃতির ; 2·4. গ্রহণ—সূর্যগ্রহণ ও চন্দ্রগ্রহণ ।

পৃষ্ঠা

তৃতীয় পরিচ্ছেদ : সমতলে আলোকের প্রতিফলন ... ৩৭৭—৩৯৮

3·1. আলোকের প্রতিফলনের অর্থ; 3·2. বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন ও উহার ফলাফল; 3·3. নিয়মিত প্রতিফলন—উহার সূত্র; 3·4. পরীক্ষার সাহায্যে প্রতিফলনের সূত্রদ্বয়ের সত্যতা নির্ধারণ—(১) হার্টল-চক্র সাহায্যে, (২) পিন-পদ্ধতির সাহায্যে; 3·5. প্রতিবিম্ব—উহার সংজ্ঞা—(i) সদ্‌বিম্ব এবং (ii) অসদ্‌বিম্ব; 3·6. সদ্‌বিম্ব ও অসদ্‌বিম্বের সাধারণ পার্থক্য; 3·7. সমতল দর্পণে বিন্দুপ্রভবের প্রতিবিম্ব-সংগঠন—উহার অবস্থান নির্ধারণ; 3·8. সমতল দর্পণে বিস্তৃত প্রভব-বস্তুর প্রতিবিম্ব সংগঠন; 3·9. প্রতিবিম্বের পার্শ্বীয় উৎক্রম; 3·10. সমতল দর্পণ ও প্রভবের অবস্থান সম্পর্কে বিবিধ অনুশীলনী; 3·11. সমতল দর্পণের আবর্তন; 3·12. বিভিন্ন অবস্থানে দুইটি সমতল দর্পণে আলোকের পর পর প্রতিফলন এবং একাধিক প্রতিবিম্ব-সংগঠন; 3·13. পরস্পর আনত দুইটি সমতল দর্পণে আলোকরশ্মি পর পর দুইবার প্রতিফলনে উহার মোট বিচ্যুতি নির্ণয়; 3·14. একাধিক সমতল দর্পণে আলোকের পর পর প্রতিফলনের ব্যবহারিক প্রয়োগ—ক্যালাইডোস্কোপ ও সরল পেরিস্কোপ।

চতুর্থ পরিচ্ছেদ : সমতলে আলোকের প্রতিসরণ ... ৩৯৯—৪২৬

4·1. আলোকের প্রতিসরণের অর্থ; 4·2. সমতলে আলোকের প্রতিসরণের পরীক্ষা—জলে নিমজ্জিত মুদ্রার আপাত-উত্থান, আংশিক নিমজ্জিত দণ্ডের আপাত-বক্রতা ইত্যাদি; 4·3. আলোক-প্রতিসরণের সূত্র; 4·4. প্রতিসরাঙ্কের বৈশিষ্ট্য; 4·5. প্রতিসরণ সূত্রদ্বয়ের পরীক্ষার সাহায্যে সত্যতা প্রমাণ—হার্টল-এর আলোক—চাকতির সাহায্যে এবং পিনের সাহায্যে; 4·6. প্রতিসরণে আলোকরশ্মির পার্শ্বীয় বিচ্যুতি; 4·7. ক্রমবর্ধমান ঘনত্বের ফলকসমূহে আলোকরশ্মির প্রতিসরণ; 4·8. চিত্রাঙ্কনে প্রতিসৃত রশ্মি গঠন; 4·9. সমতলে আলোক-প্রতিসরণে প্রতিবিম্ব-সংগঠন; 4·10. পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন এবং সঙ্কট-কোণ; 4·11. পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের সাধারণ পরীক্ষা; 4·12. পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের সাধারণ দৃষ্টান্ত; 4·13. মরীচিকা; 4·14. পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজ্‌ম্; 4·15. উল্টা প্রতিবিম্ব খাড়া করিবার প্রিজ্‌ম্।

পঞ্চম পরিচ্ছেদ : প্রিজ্‌মে আলোকের প্রতিসরণ ... ৪২৭—৪৩৫

5·1. প্রিজ্‌ম্—উহার সংক্রান্ত কয়েকটি শব্দের সংজ্ঞা ; 5·2. প্রিজ্‌মে আলোকরশ্মির প্রতিসরণ ; 5·3. চ্যুতি-কোণের পরিমাণ নির্ণয় এবং উহার সহিত আপতন-কোণের সম্পর্ক-নির্দেশ—ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ ; 5·4. ফরমুলায় প্রিজ্‌ম্-উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের প্রকাশ ; 5·5 পিন-পদ্ধতিতে প্রিজ্‌ম্-উপাদানের-প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় ; 5 6. প্রিজ্‌মে প্রতিবিম্ব-সংগঠন।

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ : লেন্সে আলোকের প্রতিসরণ ... ... ৪৩৬—৪৬১

6·1. লেন্স ও উহার প্রয়োজনীয়তা—অপসারী লেন্স এবং অভিসারী লেন্স ; 6·2. লেন্সের সাহায্যে অভিসারী ও অপসারী রশ্মিগুচ্ছ সংগঠন ; 6·3. লেন্সে ব্যবহৃত কয়েকটি শব্দের সংজ্ঞা ; 6·4. অবতল লেন্সে প্রতিবিম্ব-সংগঠন ; 6·5. উত্তল লেন্সে প্রতিবিম্ব-সংগঠন ; 6·6. লেন্স-সম্পর্কীয় রাশিগুলির সঙ্কেত-চিহ্নের নিয়ম ; 6·7. লেন্স-ফরমুলা প্রতিপাদন—উত্তল লেন্সের ফরমুলা এবং অবতল লেন্সের ফরমুলা ; 6·8. লেন্সে প্রতিবিম্বের রৈখিক বিবর্ধন ; 6·9. লেন্সের ক্ষমতা—ডায়পটর একক ; 6·10. গ্রাফ-কাগজে অঙ্কনের সাহায্যে লেন্সের অঙ্কের সমাধান ; 6·11. লেন্স চিনিবার সহজ পদ্ধতি ; 6.12. উত্তল লেন্সের ফোকস-দূরত্ব নির্ণয়ের বিভিন্ন পদ্ধতি—লম্বন-পদ্ধতি এবং আলোক-বেঞ্চ পদ্ধতি।

সপ্তম পরিচ্ছেদ : আলোকের বিচ্ছুরণ ... ... ৪৬২—৪৬৯

7·1. আলোকের বিচ্ছুরণ—বিজ্ঞানী নিউটন-এর পরীক্ষা ; 7·2. সাদা আলোকের যৌগিক প্রকৃতি নির্ণয় ; 7·3. অশুদ্ধ ও শুদ্ধ বর্ণালী—বিশুদ্ধ বর্ণালী সংগঠনের বিবিধ পদ্ধতি ; 7·4. বাস্তব বর্ণালী সংগঠনের আবশ্যকীয় শর্ত ; 7·5. রামধনু—উহার উৎপত্তি।

বিভিন্ন প্রকারের ধ্রুবকের তালিকা

1.	আপেক্ষিক গুরুত্বের তালিকা	...	...	১৩৫
2.	কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের তালিকা		...	২২১
3.	তরলের প্রসারণাঙ্কের তালিকা	....	...	২৪৭
4.	আপেক্ষিক তাপের তালিকা	...	...	২৮১
5.	লীন-তাপের তালিকা	...	...	২৯১
6.	গলনাঙ্কের তালিকা	...	...	২৯৯
7.	স্ফুটনাঙ্কের তালিকা	...	....	৩১৪
8.	রেনো-র তালিকা	...	...	৩২০
9.	তাপ-পরিবাহিতাঙ্কের তালিকা	...	...	৩৪৬
10.	প্রতিসরাঙ্কের তালিকা	...	...	৪২৩

কয়েকটি গ্রীক অক্ষর

α (অ্যালফা), β (বিটা), γ (গামা), δ (ডেল্‌টা),
θ (থিটা), λ (ল্যামডা), μ (মিউ), π (পাই),
ρ (রো), σ (সিগমা), ϕ (ফাই), ω (ওমেগা) ইত্যাদি।

একটি বড় সংখ্যাকে সংক্ষেপে দশের পাওয়ারে প্রকাশের পদ্ধতি :

যেমন—(১) $1592354 = 159235{\cdot}4 \times 10 = 15923{\cdot}54 \times 10 \times 10$

$= 1592{\cdot}354 \times 10 \times 10 \times 10$

$= 159{\cdot}2354 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$

$= 15{\cdot}92354 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$

$= 1{\cdot}592354 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$

$= 1{\cdot}59 \times 10^6$ (সংক্ষেপে)

(২) $\cdot 0000189 = \frac{\cdot 000189}{10} = \frac{\cdot 00189}{10 \times 10} = \frac{\cdot 0189}{10 \times 10 \times 10}$

$= \frac{\cdot 189}{10 \times 10 \times 10 \times 10} = \frac{1{\cdot}89}{10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10}$

$= \frac{1{\cdot}89}{10^5} = 1{\cdot}89 \times 10^{-5}$ ইত্যাদি।

সূচনা

পদার্থ-বিদ্যা বা জড়-বিজ্ঞান (Physics)—জড় (Matter) এবং **শক্তির (Energy)** সমন্বয়ে যে সকল প্রাকৃতিক ঘটনাবলীর সৃষ্টি হয় তাহার বিশেষরূপ আলোচনাই পদার্থ-বিদ্যা বা জড় বিজ্ঞানের অন্তর্ভুক্ত বলিয়া বিবেচিত হইয়া থাকে। সুতরাং পদার্থ বিজ্ঞানপাঠের প্রারম্ভেই জড় এবং শক্তি সম্পর্কে মোটামুটি ধারণা থাকা আমাদের একান্ত প্রয়োজন। এই কারণে জড় এবং শক্তি সম্বন্ধে নিম্নে আলোচনা করা হইল।

জড় এবং জড়বস্তু (Matter and Material Bodies)—জড় বা পদার্থ সম্পর্কে মানুষের ধারণা সহজাত। **যাহার স্বাধীন অস্তিত্ব আছে, যাহা কিছু না কিছু স্থান জুড়িয়া অবস্থান করে, যাহা এক বা একাধিক ইন্দ্রিয়গ্রাহ্য, যাহা পরস্পর আকর্ষণশীল এবং পৃথিবীর অন্তর্ভুত হইলে ভারসম্পন্ন বা ওজনবিশিষ্ট হয় তাহাকেই আমরা জড় বা পদার্থ বলিয়া থাকি।** এই হিসাবে ঘরের আসবাব-পত্র, গাছ পালা, জল, বায়ু, পৃথিবীর যাবতীয় সজীব ও নির্জীব পদার্থ, আকাশের গ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি যাহা কিছু তোমরা দেখিতে পাও তাহা সবই জড় বা পদার্থ।

কিয়ৎপরিমাণ জড়ের সমন্বয়ে একটি জড়বস্তু সংগঠিত হয় এবং এই বস্তুতে যে পরিমাণ জড় থাকে তাহাকে **বস্তুর ভর (Mass)** বলে।

জড়বস্তুর বিভিন্ন অবস্থা—জড়বস্তু তিনটি অবস্থায় পরিলক্ষিত হয়। যথা: (1) **কঠিন,** (2) **তরল** এবং (3) **গ্যাসীয়** বা **বায়বীয়।** পৃথিবীর যাবতীয় জড়বস্তু এই তিন অবস্থার যে কোন একটি অবস্থায় থাকে। উদাহরণস্বরূপ বলা যাইতে পারে, জল একটি তরল পদার্থ। উহা জমিয়া বরফে পরিণত হইলে ঐ বরফ নির্দেশ করে জলের কঠিন অবস্থা। আবার জলে তাপ প্রয়োগ করিয়া উহাকে বাষ্পে পরিণত করিলে ঐ বাষ্প নির্দেশ করে জলের বায়বীয় অবস্থা।

(এই তিন অবস্থা ছাড়া পদার্থ আরও একটি অবস্থায় থাকিতে পারে। পদার্থের এই চতুর্থ অবস্থাকে প্লাজমা (Plasma) বা আইঅ্যান্‌-সম্পন্ন অবস্থা (Ionized state) বলা হয়। কোন জড়বস্তু এই অবস্থা প্রাপ্ত হইলে উহার প্রতিটি সূক্ষ্ম অংশ ধনাত্মক ও ও ঋণাত্মক বৈদ্যুতিক কণায় পরিণত হয়)।

জড়বস্তুর শ্রেণী-বিভাগ—জড়বস্তু মূলতঃ দুইটি শ্রেণীতে বিভক্ত: (1) **মৌল পদার্থ (Element)** এবং (2) **যৌগিক পদার্থ (Compound)।** সোনা,

রূপা, তামা, লোহা, সোডিয়াম, পটাসিয়াম, ক্লোরিন, হাইড্রোজেন, অক্সিজেন ইত্যাদি মৌল পদার্থ। একাধিক মৌল পদার্থের রাসায়নিক সংযোগে একটি যৌগিক পদার্থ গঠিত হয়। যেমন, জল (হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন দ্বারা সংগঠিত), লবণ (সোডিয়াম ও ক্লোরিন দ্বারা সংগঠিত) ইত্যাদি যৌগিক পদার্থ। যৌগিক পদার্থগুলিতে উহাদের মৌল উপাদানগুলির সাধারণ ধর্ম বর্তমান থাকে না। যেমন, জল তরল পদার্থ, উহার মৌল উপাদান হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন উভয়ই গ্যাসীয় পদার্থ।

এ পর্যন্ত বিরানব্বইটি প্রকৃতিদত্ত মৌল পদার্থের সন্ধান পাওয়া গিয়াছে। ইহা ছাড়া, বিজ্ঞানীরা গবেষণাগারে আরও কয়েকটি নূতন মৌল পদার্থ সৃষ্টি করিতে সক্ষম হইয়াছেন।

শক্তি (Energy)—জড়বস্তুর কার্যক্ষমতাকে শক্তি বলে। বস্তুর অস্তিত্ব যেমন সত্য শক্তির অস্তিত্বও তদনুরূপে সত্য। জড়বস্তুকে আমরা আকার, আয়তন ইত্যাদি দ্বারা বর্ণনা করিতে পারি, কিন্তু শক্তিকে অনুরূপভাবে বর্ণনা করা যায় না। তবে শক্তির এই যথার্থ অস্তিত্ব জড়বস্তুর মাধ্যমেই বিকাশ লাভ করিয়া থাকে। উদাহরণ-স্বরূপ বলা যাইতে পারে, তাপ একপ্রকারের শক্তি। ইহা কোন আকার বা আয়তন বিশিষ্ট নয় এবং ইহার কোন স্বাধীন অস্তিত্ব নাই। কিন্তু কোন বস্তুর উষ্ণতা-বৃদ্ধি নির্দেশ করে ঐ বস্তুতে তাপশক্তির উপস্থিতি। আবার, আলো একপ্রকারের শক্তি। কোন আলোর উৎস অনুসন্ধান করিলে আমরা দেখিতে পাই যে কোন না কোন বস্তু অত্যধিক উত্তপ্ত হইয়া ঐ আলো বিকিরণ করিতেছে। এইরূপ বিদ্যুৎ একপ্রকারের শক্তি। বৈদ্যুতিক বাতি-জ্বলা বা বৈদ্যুতিক পাখা-ঘোরা নির্দেশ করে জড়বস্তুতে বিদ্যুতের প্রবাহ।

বিজ্ঞানপাঠকালে তোমরা যে বিভিন্ন প্রকারের শক্তির সহিত পরিচিত হইবে তাহাদের নিম্নলিখিত রূপে বিভক্ত করা যাইতে পারে ঃ

(1) **যান্ত্রিক শক্তি** (Mechanical Energy), (2) **তাপশক্তি** (Heat Energy), (3) **আলোকশক্তি** (Light Energy), (4) **শব্দশক্তি** (Sound Energy), (5) **চৌম্বক শক্তি** (Magnetic Energy), (6) **বিদ্যুৎশক্তি** (Electric Energy) এবং (7) **রাসায়নিক শক্তি** (Chemical Energy)।

এই বিভিন্ন প্রকারের শক্তি পরস্পরের সহিত সম্পর্কিত। ইহাদের যে-কোন একটি অপর একটিতে রূপান্তরিত হইতে পারে। যেমন, বৈদ্যুতিক বাতি জ্বালিলে যে আলো পাওয়া যায় তাহা ঐ বাতিতে প্রযুক্ত বিদ্যুৎশক্তি হইতে সৃষ্ট। এক্ষেত্রে বিদ্যুৎ আলো-শক্তিতে রূপান্তরিত হইয়াছে। আবার বৈদ্যুতিক পাখা ঘোরার সময় বিদ্যুৎ যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এইরূপ বিভিন্ন উদাহরণ হইতে আমরা দেখিতে পাই,

একদিকে যেমন কোন শক্তির রূপান্তর ছাড়া অপর কোন নূতন শক্তির উদ্ভব সম্ভব নয় অপরদিকে তেমন অন্য কোন শক্তির সৃষ্টি না করিয়া কোন শক্তিকে ধ্বংস করা যায় না। এই নিত্যসত্যকে **শক্তির সংরক্ষণ** (Conservation of Energy) বলা হয়। প্রকৃত-পক্ষে এই বিশ্বসৃষ্টির গোড়ার দিকে যে পরিমাণ শক্তি ছিল আজও তাহা বর্তমান।

(আধুনিক বৈজ্ঞানিক ধারণায় শক্তি জড়ে এবং জড় শক্তিতে রূপান্তরিত হইতে পারে। বিজ্ঞানী আইনস্টাইন সর্বপ্রথম এই তত্ত্ব আবিষ্কার করেন। বর্তমান যুগের আণবিক বোমা, হাইড্রোজেন বোমার বিস্ফোরণ ইত্যাদি এই তত্ত্বের সত্যতা প্রমাণ করে)।

পদার্থ-বিদ্যার বিভিন্ন বিভাগ—জড় এবং শক্তির সমন্বয়ে যে বিভিন্ন ঘটনাবলীর সৃষ্টি হয় তাহাদের যথাযথ আলোচনার জন্য পদার্থ-বিজ্ঞানকে নিম্নলিখিত কয়টি ভাগে বিভক্ত করা হইয়াছে।

(1) **সাধারণ পদার্থ-বিজ্ঞান** (General Physics), (2) **তাপ-বিজ্ঞান** (Heat), (3) **আলো-বিজ্ঞান** (Light), (4) **শব্দ-বিজ্ঞান** (Sound), (5) **চুম্বক-বিজ্ঞান** (Magnetism) এবং (6) **তড়িৎ-বিজ্ঞান** (Electricity)।

পদার্থের সাধারণ ধর্মের সংক্ষিপ্ত আলোচনা—দেখা গিয়াছে যে, জড়বস্তু যে-কোন অবস্থায় থাকুক না কেন উহার কয়েকটি সাধারণ ধর্ম আছে। নিম্নে উহাদের সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা করা হইল।

(1) **মহাকর্ষ এবং অভিকর্ষ** (Gravitation and Gravity)—বিশ্বের যে-কোন দুইটি জড়বস্তু সর্বদা পরস্পরকে আকর্ষণ করে। এই আকর্ষণকে বলা হয় **মহাকর্ষ** (Gravitation)। মহাকর্ষের ফলে আমাদের এই সৌরজগতে পৃথিবীসহ অন্যান্য গ্রহগুলি সূর্যের কেন্দ্রের দিকে আকর্ষিত হইয়া সূর্যের চতুর্দিকে নিজ নিজ কক্ষপথে পরিভ্রমণ করিতেছে। আবার চন্দ্র ও সমুদ্রের মধ্যে এই আকর্ষণের ফলে জোয়ার-ভাঁটার সৃষ্টি হয়।

পৃথিবী তাহার সমীপবর্তী যাবতীয় বস্তুকে কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে। জড়-বস্তুর উপর পৃথিবীর এই আকর্ষণকে আমরা **অভিকর্ষ** (Gravity) বলিয়া থাকি। এই কারণে ফল বৃন্তচ্যুত হইলে নীচের দিকে খসিয়া পড়ে। পৃথিবীর এই আকর্ষণের জন্যই জড়বস্তু ভার বা ওজন বিশিষ্ট হয়।

(2) **বিস্তৃতি** (Extension)—জড়বস্তু যে-কোন অবস্থায় এবং যে-কোন আকারেই থাকুক না কেন উহা কিছু না কিছু স্থান জুড়িয়া অবস্থান করে। বস্তুটি যতখানি স্থান জুড়িয়া বিস্তৃত তাহাকে বলা হয় বস্তুর **আয়তন** (Volume)। অর্থাৎ আমরা বলিতে পারি, জড়বস্তু আয়তনবিশিষ্ট।

(3) **অভেদ্যতা** (Impenetrability)—একই সময় দুইটি জড়বস্তু একই স্থান দখল করিয়া থাকিতে পারে না। ইহাকেই বলা হয় পদার্থের অভেদ্যতা। যখন কাঠের ভিতর পেরেক পোঁতা হয় তখন মনে হয় কাঠ ভেদ করিয়া পেরেকটি যেন ভিতরে ঢুকিতেছে। কিন্তু বস্তুতঃ কাঠ ভেদ করিয়া পেরেক ঢুকিতে পারে না, কাঠের আঁশগুলি দুইপাশে সরিয়া যাওয়ায় পেরেকটি ভিতরে ঢুকিবার পথ করিয়া লয়।

(4) **বিভাজ্যতা** (Divisibility)—প্রত্যেক জড়বস্তুকে উহার ধর্ম অক্ষুণ্ণ রাখিয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশে বিভক্ত করা সম্ভব। ইহাকেই বলা হয় পদার্থের বিভাজ্যতা। যেমন, একটুকরা কাচকে আমরা পিষিয়া চূর্ণ করিতে পারি এবং আমরা দেখিতে পাই এই বিভাজ্যতা গুণের জন্যই কাচের প্রতিটি চূর্ণ কণার মধ্যে কাচের সাধারণ ধর্ম অক্ষুণ্ণ থাকে।

জড়বস্তুর এইরূপে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশে বিভক্ত হওয়ার ক্ষমতা-দৃষ্টে বিজ্ঞানী ডালটন তাহার পরমাণুবাদ উপস্থাপন করিয়াছিলেন। এই পরমাণুবাদ অনুসারে যে-কোন বস্তু ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশে বিভক্ত হইয়া শেষ পর্যন্ত এমন সীমায় আসিয়া পৌঁছায় যখন উহাকে আরও বিভক্ত করিলে ঐ বিভক্ত অংশগুলি আর মূলবস্তুর ধর্ম রক্ষা করে না। জড়বস্তুর এই সীমিত অংশগুলিকে বলা হয় **অণু** (Molecule)। এই অণুগুলিকে পুনরায় বিভক্ত করিলে যে চূড়ান্ত বিভক্তকণাগুলি সৃষ্টি হয় উহাদের বলা হয় **পরমাণু** (Atom)। সুতরাং ডালটন-এর মতে এই পরমাণুগুলিই হইল কোন বস্তুর ক্ষুদ্রতম অংশ, যাহা আর বিভক্ত করা যায় না।

বর্তমান যুগের বিজ্ঞানীরা ডালটন-এর এই কল্পিত পরমাণুকে অবিভাজ্য বলিয়া মনে করেন না। এখন ইহা প্রমাণিত হইয়াছে যে, পরমাণুগুলি এক একটি জটিল জড়কণা। প্রতিটি পরমাণু কয়েকটি বিভিন্ন প্রকারের অতিসূক্ষ্ম জড়কণা দ্বারা সংগঠিত। এই কণাগুলি হইল **ইলেকট্রন** (Electron), **প্রোটন** (Proton) এবং **নিউট্রন** (Neutron)। পরমাণুর গঠন-পদ্ধতি হিসাবে একটি পরমাণুকে সৌরজগতের সাথে তুলনা করা যাইতে পারে। সৌরজগতের গ্রহগুলি যেরূপ সূর্যের চতুর্দিকে প্রতিনিয়ত ঘুরিতেছে পরমাণুর ইলেকট্রনগুলিও অনুরূপভাবে প্রোটন এবং নিউট্রন দ্বারা সংগঠিত **পরমাণু-কেন্দ্রের** (Nucleus) চতুর্দিকে অনবরত ঘুরিতেছে।

(5) **সংসক্তি** (Cohesion)—একই জড়বস্তুর অণুগুলি একে অন্যকে আকর্ষণ করে। এই পারস্পরিক আকর্ষণকে বলা হয় **সংসক্তি** (Cohesion)। একটি গরুর গাড়ির চাকার লোহার বেড়ের মুখ দুইটি শ্বেত-তপ্ত করিয়া পিটাইয়া দিলে এই সংসক্তির বলে উহারা জোড়া লাগিয়া যায়।

(6) **আসঞ্জন** (Adhesion)—দুইটি বিভিন্ন বস্তুর অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণকে বলা হয় আসঞ্জন (Adhesion)। এই আসঞ্জন ধর্মের জন্য দুইটি বিভিন্ন

ধাতব খণ্ড ঝালাই (Soldering) করিয়া জোড়া লাগানো যায়। আমরা যে আঠার দ্বারা কাগজ জুড়িয়া থাকি ইহাও আসঞ্জনের ফলেই সম্ভব হয়।

(7) **সচ্ছিদ্রতা** (Porosity)—প্রত্যেক জড়বস্তুই অসংখ্য ছিদ্র-সমন্বিত। ইহার কতকগুলি ছিদ্র সহজবোধগম্য (Sensible Pores) এবং কতকগুলি ইন্দ্রিয়গ্রাহ্যাতীত অতি সূক্ষ্ম। এই শেষোক্ত অতি সূক্ষ্ম ছিদ্রগুলিকে বলা হয় আন্তরাণবিক ছিদ্র (Intermolecular space)। প্রথমোক্ত ছিদ্রের অস্তিত্ব আমরা সচরাচর দেখিতে পাই। যেমন, নূতন পাঁজা হইতে একখানা ইট জলে ডুবাইলে অনতিবিলম্বে ঐ ইটখানি জল শুষিয়া লয়। আবার একটি স্যাময় চামড়ার থলিতে কিয়ৎপরিমাণ পারদ লইয়া মোচড়ানো হইলে ঐ চামড়ার সূক্ষ্ম সূক্ষ্ম ছিদ্র দিয়া পারদকণা বাহির হইয়া আসে। দ্বিতীয় প্রকারের ছিদ্রগুলির অস্তিত্ব আমরা পরোক্ষভাবে বুঝিতে পারি। একটি জলপূর্ণ পাত্রে কিয়ৎপরিমাণ লবণ ফেলিয়া দিয়া জলকে আলোড়িত করিলে দেখা যায় যে, লবণ জলে মিশিয়া গিয়াছে। এক্ষেত্রে লবণের সূক্ষ্ম সূক্ষ্ম অংশগুলি জলের আন্তরাণবিক ছিদ্রের মধ্যে প্রবেশ করে। ইহাকে আমরা বলিয়া থাকি জলে লবণ গলিয়া যাওয়া।

(8) **জাড্য** (Inertia)—প্রত্যেক জড়বস্তুই জাড্য ধর্মাবলম্বী। অর্থাৎ কোন জড়বস্তুকে যে অবস্থায় রাখা হয় উহা সেই অবস্থায়ই থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত উহার উপর কোন বাহ্যিক বল প্রয়োগ করা না হয়। জাড্য দুইপ্রকারের—(ক) **স্থিরজাড্য** (Inertia of rest) এবং (খ) **গতিজাড্য** (Inertia of Motion)।

(ক) **স্থিরজাড্য**—কোন জড়বস্তু স্থির অবস্থায় থাকিলে উহার ধর্মই হইল ঐ অবস্থায় থাকিতে চাওয়া। উহার স্থানচ্যুতি ঘটাইতে হইলে বাহির হইতে বল প্রয়োগ করিতে হইবে। ইহাই নির্দেশ করে বস্তুর স্থিরজাড্য। বস্তুর ভর (Mass) যত বেশী উহার স্থিরজাড্য তত বেশী হইবে। যেমন, একটি ফুটবলকে লাথি মারিয়া যত সহজে স্থানচ্যুত করা যায়, একই আয়তনের একটি নিরেট লোহার বলকে তাহা করা সম্ভব নয়।

(খ) **গতিজাড্য**—কোন বস্তু সমবেগে একটি নির্দিষ্ট দিকে চলিতে থাকিলে উহা একই ভাবে চলিবে যতক্ষণ পর্যন্ত না বাহির হইতে বলপ্রয়োগে এই চলায় বাধা সৃষ্টি করা হয়। ইহাকেই বস্তুর গতিজাড্য বলা হয়। যেমন, একটি চলন্ত ট্রামগাড়ী হইতে খাড়াভাবে মাটিতে নামিতে গেলে উপুড় হইয়া পড়ার আশঙ্কা থাকে, কেননা পা দুটি ভূমিসংলগ্নে আসিয়া থামিয়া যায়, কিন্তু গতিজাড্যের জন্য তখনও শরীরের উপরের অংশে সম্মুখের দিকে গতি থাকে।

(9) **স্থিতিস্থাপকতা** (Elasticity)—ইহা জড়বস্তুর একটি উল্লেখযোগ্য স্বাভাবিক ধর্ম। বস্তুর এই ধর্ম থাকার ফলে বাহির হইতে বল প্রয়োগ করিয়া উহার আকার, আয়তন ইত্যাদির পরিবর্তন ঘটাইতে গেলে বস্তুটি বাধা প্রদান করে এবং যখনই এই বাহিরের প্রযুক্ত বল সরাইয়া লওয়া হয় তখনই বস্তুটি পুনরায় পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া আসে।

প্রথম পরিচ্ছেদ

প্রাকৃতিক রাশি এবং উহাদের মাপের একক

(Physical Quantities and their Units of Measurements)

1·1. প্রাকৃতিক রাশি : যাহা কিছু পরিমাপযোগ্য আমরা তাহাকেই রাশি বলিয়া থাকি। মনে কর, একটুকরা কাপড় ফিতা দিয়া মাপিয়া দেখিলাম উহার দৈর্ঘ্য তিন গজ। এক্ষেত্রে কাপড়ের দৈর্ঘ্যের পরিমাপ করা গেল। অতএব আমরা বলিতে পারি বস্তুর দৈর্ঘ্য একটি রাশি। মনে কর, এক ঠোঙা চাউল তুলার (Balance) সাহায্যে মাপিয়া দেখা গেল উহার ওজন এক কিলো। কাজেই বস্তুর ওজনকে বলি উহা একটি পরিমাপযোগ্য রাশি। আবার মনে কর, তোমাদের বাড়ি হইতে বাজারে পৌছাইতে দশ মিনিট সময় লাগে। এক্ষেত্রে দেখা গেল সময় একটি পরিমাপযোগ্য রাশি। বিজ্ঞানপাঠকালে এইরূপ যে সকল রাশির সহিত তোমরা পরিচিত হইবে তাহাদিগকে প্রাকৃতিক রাশি (Physical Quantity) বলা হয়।

প্রাকৃতিক রাশি দুইপ্রকারের—(1) **স্কেলার রাশি** বা **দিক্‌শূন্য রাশি** (Scalar Quantity) এবং (2) **ভেক্টর রাশি** বা **দিক্‌সংযুক্ত রাশি** (Vector Quantity)। যে রাশিগুলিকে ব্যক্ত করিতে হইলে শুধু মানের (Magnitude) প্রয়োজন হয়, দিক্‌-নির্দেশের (Direction) প্রয়োজন হয় না তাহাদের **স্কেলার রাশি** বলা হয়। যেমন, বস্তুর ভর, দৈর্ঘ্য, সময়, কার্য, শক্তি ইত্যাদি স্কেলার রাশি। আবার যে রাশিগুলিকে ব্যক্ত করিতে হইলে মান (Magnitude) এবং দিক্‌-নির্দেশ (Direction) উভয়েরই প্রয়োজন হয় তাহাদিগকে **ভেক্টর রাশি** বলে। যেমন, বস্তুর ওজন, বল, গতিবেগ, ত্বরণ ইত্যাদি ভেক্টর রাশি।

1·2. রাশি মাপিবার একক (Units of Measurements) : কোন রাশির পরিমাণ সুস্পষ্টভাবে ব্যক্ত করিতে হইলে একটি নির্দিষ্ট **মান** বা **মাত্রা** ধরিয়া লওয়া হয়। এই নির্দিষ্ট মান বা মাত্রাকে বলা হয় ঐ রাশিটির **একক** (Unit)।

উদাহরণস্বরূপ, যদি বলি আমাদের বিজ্ঞান ক্লাসের টেবিলটি বেশ লম্বা তবে টেবিলটির দৈর্ঘ্য সম্বন্ধে কোন সুস্পষ্ট ধারণা হয় না। কিন্তু যদি বলি ঐ টেবিলটি 12 ফুট লম্বা তবে উহার দৈর্ঘ্য কত তাহা সকলেই বুঝিতে পারে। এক্ষেত্রে এক ফুটকে ধরা হইয়াছে দৈর্ঘ্যের একক এবং এই একক দৈর্ঘ্যের বারগুণ হইল টেবিলটির দৈর্ঘ্য। আবার

যদি বলি একটি গুদামে অনেক চাউল মজুত আছে তাহা হইলে ঐ চাউলের পরিমাণ সম্বন্ধে কোন ধারণা হয় না। কিন্তু যদি বলি গুদামে 500 মণ চাউল আছে তবে ঐ চাউলেব পরিমাণ কত তাহা সঠিক বোঝা যায়। এক্ষেত্রে চাউলের ভরের (Mass) একক ধরা হইয়াছে এক মণ। আবার যদি বলি কলিকাতা হইতে ট্রেনযোগে দিল্লী যাইতে বেশ সময় লাগে তবে ঐ সময় সম্বন্ধে সঠিক ধারণা হয় না। কিন্তু যদি বলি কলিকাতা হইতে ট্রেনযোগে দিল্লী যাইতে 24 ঘণ্টা সময় লাগে তাহা হইলে সকলেই ঐ সময় সম্বন্ধে সুস্পষ্ট ধারণা করিতে পারে। এখানে এক ঘণ্টাকে ধরা হইয়াছে সময়ের একক।

উপরের উদাহরণগুলি হইতে দেখা যায় যে, বিভিন্ন রাশির পরিমাণ সুস্পষ্টভাবে ব্যক্ত করিতে গেলে উহাদের প্রত্যেকটির জন্য যথাযোগ্য এক একটি একক ধরিয়া লওয়া প্রয়োজন। এই এককগুলি এরূপভাবে নির্দিষ্ট হওয়া প্রয়োজন যাহাতে রাশিগুলির মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক বজায় থাকে। এই কারণে তিনটি রাশির একককে মূল বা প্রাথমিক একক (Fundamental Unit) ধরা হয়। এই রাশি তিনটি হইল—(1) **দৈর্ঘ্য** (Length), (2) **ভর** (Mass) এবং (3) **সময়** (Time)। অন্যান্য রাশির একক এই তিনটি প্রাথমিক রাশির একক হইতে পাওয়া যায় এবং ইহাদিগকে বলা হয় **লব্ধ একক** (Derived Units)।

1·3. এককের বিভিন্ন পদ্ধতি : বিভিন্ন রাশির পরিমাপের জন্য সাধারণতঃ দুইটি পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। যথা—

(1) **সি. জি. এস্. বা মেট্রিক পদ্ধতি** (C. G. S. or Metric System)। এই পদ্ধতিতে পূর্ববর্ণিত প্রাথমিক রাশি তিনটির একক হইল,

দৈর্ঘ্যের একক—সেন্টিমিটার (Centimetre, সংক্ষেপে cm.),
ভরের একক—গ্রাম (Gramme, সংক্ষেপে gm.) এবং
সময়ের একক—সেকেণ্ড (Second, সংক্ষেপে sec.)।

এই একক তিনটির নামের প্রথম অক্ষর হইতে এই পদ্ধতির নামকরণ হইয়াছে সি. জি. এস্.—পদ্ধতি। ইহাকে অনেক সময় Centimetre-Gramme-Second পদ্ধতিও বলা হয়।

(2) **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি** (F. P. S. System)। এই পদ্ধতি সাধারণতঃ ইংলণ্ড এবং উহার উপনিবেশগুলিতে ব্যবহৃত হয়। এই পদ্ধতিতে ধরা হয়,

দৈর্ঘ্যের একক—ফুট (Foot, সংক্ষেপে ft.),
ভরের একক—পাউণ্ড (Pound, সংক্ষেপে lb.) এবং
সময়ের একক—সেকেণ্ড (Second, সংক্ষেপে sec.)।

এই একক তিনটির নামের প্রথম অক্ষর হইতে পদ্ধতির নামকরণ হইয়াছে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি। ইহাকে Foot-Pound-Second পদ্ধতিও বলা হয়।

উপরোক্ত পদ্ধতি দুইটি ছাড়া ইদানীং আর একটি পদ্ধতি ব্যবহৃত হইতেছে। ইহার নাম **এম্. কে. এস্. পদ্ধতি** (M. K. S. System)। আমেরিকার যুক্তরাষ্ট্রে এই পদ্ধতিটি অনুসৃত হইতেছে। এই পদ্ধতিতে ধরা হয়,

দৈর্ঘ্যের একক —মিটার (Metre, সংক্ষেপে M.),
ভরের একক —কিলোগ্রাম (Kilogramme, সংক্ষেপে Kg.) এবং
সময়ের একক—সেকেণ্ড (Second, সংক্ষেপে Sec.)।

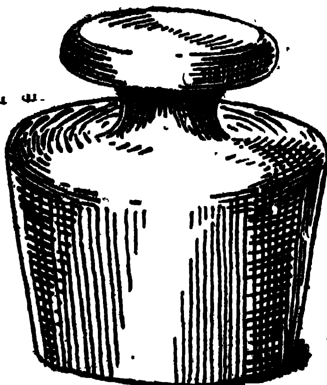
1·4. বিভিন্ন মূল এককের সংজ্ঞা :

(ক) **মিটারের সংজ্ঞা**—পৃথিবীর সুমেরু (North-pole) হইতে বিষুবরেখা (Equator) পর্যন্ত যে মধ্যরেখা (Terrestrial meridian) প্যারিস শহরের উপর দিয়া গিয়াছে তাহার দৈর্ঘ্যের কোটি ভাগের এক ভাগকে বলা হয় **এক মিটার** (Metre)। উপরোক্ত সংজ্ঞাহিসাবে বিজ্ঞানী বোর্দা (Borda) সর্বপ্রথম একটি মিটার-দণ্ড নির্মাণ করিয়াছিলেন। এই দণ্ডটি প্লাটিনাম-ইরিডিয়াম সঙ্কর ধাতুর তৈয়ারী এবং ইহা প্যারিসের যাদুঘরে 0°C তাপমাত্রায় রক্ষিত আছে। এই দণ্ডটির দুই প্রান্তে দুইটি নির্দিষ্ট দাগ আছে। এই দাগ দুইটির মধ্যের দূরত্ব নির্দেশ করে এক মিটার।

(খ) **সেন্টিমিটারের** (Centimetre) **সংজ্ঞা**—পূর্বেই বলা হইয়াছে সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক সেন্টিমিটার। 'সেন্টি' শব্দের অর্থ শতাংশ। কাজেই সেন্টিমিটার নির্দেশ করে মিটারের একশত ভাগের এক ভাগ দৈর্ঘ্য।

(গ) **ফুটের সংজ্ঞা—প্রমাণ গজের তিন ভাগের এক ভাগ দৈর্ঘ্যকে বলা হয় এক ফুট।**

লণ্ডনের ব্রিটিশ কোষাগারে 60° ফারেনহাইট তাপমাত্রায় একটি ব্রোঞ্জের দণ্ড সংরক্ষিত আছে। এই দণ্ডটির দুই প্রান্তে দুইটি সোনার প্লাগ (plug) আঁটভাবে বসানো আছে এবং ঐ প্লাগ দুইটির উপর দুইটি নির্দিষ্ট দাগ দেওয়া আছে। এই দাগ দুইটির মধ্যের দূরত্বকে বলা হয় **প্রমাণ গজ**।


Kilogramme
চিত্র 1A

(ঘ) **গ্রামের** (Gramme) **সংজ্ঞা**—পূর্বেই বলা হইয়াছে সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ভরের এককের নাম **গ্রাম**। প্যারিসের যাদুঘরে বিশেষ আকৃতিবিশিষ্ট একটি প্লাটিনাম-ইরিডিয়াম ধাতব খণ্ড সংরক্ষিত আছে। **ইহার ভরকে বলা হয় এক কিলোগ্রাম** (চিত্র 1A)।

ঐ ভরের হাজার ভাগের এক ভাগ ভরকে বলা হয় এক গ্রাম। গ্রাম সহজ-ভাবে বুঝিবার জন্য আমরা বলিতে পারি 4°C তাপমাত্রায় এক ঘন সে. মি আয়তনের বিশুদ্ধ জলের ভর এক গ্রাম।

(ঙ) **পাউণ্ডের সংজ্ঞা**—এফ. পি এস. পদ্ধতিতে ভরের একক পাউণ্ড। ওয়েস্টমিনস্টারের স্ট্যাণ্ডার্ড অফিসে বিশেষ আকৃতিসম্পন্ন একখণ্ড প্লাটিনাম ধাতু রক্ষিত আছে ইহার ভরকে এক পাউণ্ড বলা হয় (চিত্র 1B)।



Pound

চিত্র 1B

(চ) **সেকেণ্ডের সংজ্ঞা**—সি. জি. এস, এফ পি. এস এবং এম্ কে এস এই তিন পদ্ধতির প্রত্যেকটিতেই সেকেণ্ডকে সময়ের একক হিসাবে ধরা হইয়াছে।

সৌরদিবস—পৃথিবীর কোনস্থানের মধ্যরেখা দুইবার পর পর অতিক্রম করিতে সূর্যের যে সময় অতিবাহিত হয় (two successive transits of the sun across the meridian) উহাকে আমরা **সৌরদিবস** (Solar day) বলিয়া থাকি। এই সৌরদিবসের চব্বিশ ভাগের এক ভাগকে বলা হয় এক ঘণ্টা। এক ঘণ্টার ষাট ভাগের এক ভাগকে বলা হয় মিনিট। **মিনিটের ষাট ভাগের এক ভাগকে বলা হয় সেকেণ্ড।**

এক্ষেত্রে একটি কথা মনে রাখিতে হইবে যে, বৎসরের বিভিন্ন সময়ে এই সৌর-দিবসের পরিমাণ কমবেশী হইয়া যায়। এই কারণে আমরা বৎসরের সৌরদিবসগুলির গড় লইয়া সেকেণ্ডের সময়ের পরিমাণ হিসাব করি। সুতরাং আমরা বলিতে পারি,

$$\text{এক সেকেণ্ড} = \frac{1}{24 \times 60 \times 60} \text{ গড় সৌরদিবস।}$$

1·5. দৈর্ঘ্য মাপিবার ব্যবহারিক একক (Practical Units of Length):

(ক) **সি. জি. এস্. পদ্ধতি**—যদিও সি জি. এস্-পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্য মাপিবার চরম একক (Absolute Unit) হইল সেন্টিমিটার, কিন্তু ব্যবহারিক ক্ষেত্রে মিটারের বিভিন্ন গুণিতক (Multiple) এবং বিভাজ্যাংশ (Submultiple) দৈর্ঘ্য মাপিবার একক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। যেমন, ছোট বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য মিটারের নিম্নলিখিত বিভাজ্যাংশ একক হিসাবে ব্যবহার করা হইয়া থাকে।

ডেসিমিটার (Decimetre) = $\frac{1}{10}$ মিটার (এক মিটারের দশমাংশ),
সেন্টিমিটার (Centimetre, সংক্ষেপে cm.) = $\frac{1}{100}$ মিটার (এক মিটারের শতাংশ),
মিলিমিটার (Millimetre, সংক্ষেপে mm.) = $\frac{1}{1000}$ মিটার (এক মিটারের সহস্রাংশ),
= $\frac{1}{10}$ সেন্টিমিটার (এক সেন্টিমিটারের দশমাংশ),
মাইক্রন (Micron) = $\frac{1}{1000}$ মিলিমিটার = $\frac{1}{10000}$ সেন্টিমিটার ইত্যাদি।

অনুরূপভাবে বড় দৈর্ঘ্য মাপিবার সময় মিটারের বিভিন্ন গুণিতক একক হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

ডেকামিটার (Decametre) = 10 মিটার (এক মিটারের দশ গুণ),
হেক্টোমিটার (Hectometre) = 100 মিটার (এক মিটারের একশত গুণ),
কিলোমিটার (Kilometre, সংক্ষেপে km.) = 1000 মিটার (এক মিটারের সহস্র গুণ), ইত্যাদি।

(খ) **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি**—এফ্. পি. এস্-পদ্ধতিতে ফুটকে দৈর্ঘ্য মাপিবার চরম একক ধরা হয়, কিন্তু ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ফুটের বিভিন্ন বিভাজ্যাংশ এবং গুণিতককে দৈর্ঘ্য মাপিবার একক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। যেমন,

এক ইঞ্চি = $\frac{1}{12}$ ফুট (এক ফুটের বার ভাগের এক ভাগ),
এক সূতা = $\frac{1}{8}$ ইঞ্চি (এক ইঞ্চির আট ভাগের এক ভাগ);

আবার, এক গজ = 3 ফুট,
এক ফার্লং = 220 গজ = 660 ফুট,
এক মাইল = 8 ফার্লং = 8 × 220 = 1760 গজ = 5280 ফুট।

1·6. ভর মাপিবার ব্যবহারিক একক (Practical Unit of Measurement of Mass) :

(ক) **সি. জি. এস্. পদ্ধতি**—সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে গ্রাম ও উহার বিভিন্ন বিভাজ্যাংশ এবং গুণিতককে ভর মাপিবার ব্যবহারিক একক হিসাবে ধরা হয়।

গ্রামের বিভিন্ন বিভাজ্যাংশ—

এক ডেসিগ্রাম = $\frac{1}{10}$ গ্রাম (এক গ্রামের দশমাংশ),
এক সেন্টিগ্রাম = $\frac{1}{100}$ গ্রাম (এক গ্রামের শতাংশ),
এক মিলিগ্রাম = $\frac{1}{1000}$ গ্রাম (এক গ্রামের সহস্রাংশ)।

গ্রামের বিভিন্ন গুণিতক—

এক ডেকাগ্রাম = 10 গ্রাম (এক গ্রামের দশ গুণ),
এক হেক্টোগ্রাম = 100 গ্রাম (এক গ্রামের শত গুণ),
এক কিলোগ্রাম = 1000 গ্রাম (এক গ্রামের সহস্র গুণ)।

(খ) **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি**—এই পদ্ধতিতে পাউণ্ড ও উহার বিভিন্ন ভগ্নাংশ এবং গুণিতক ভর মাপিবার ব্যবহারিক একক হিসাবে প্রচলিত আছে। পাউণ্ডের ভগ্নাংশ ও গুণিতক বিভিন্ন নামে বাজারে পরিচিত। যথা, ড্রাম, আউন্স, কোয়ার্টার, হন্দর, টন ইত্যাদি। ইহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক নিম্নে দেওয়া হইল—

16 ড্রাম = 1 আউন্স (সংক্ষেপে oz.),

16 আউন্স = 1 পাউণ্ড (সংক্ষেপে lb.),

14 পাউণ্ড = 1 স্টোন,

28 পাউণ্ড = 1 কোয়ার্টার,

4 কোয়ার্টার = 1 হন্দর (Hundred weight, সংক্ষেপে cwt.),

20 হন্দর = 1 টন, ইত্যাদি।

ইম্পিরিয়াল পাউণ্ড ভরকে একক ধরার পূর্বে ইংলণ্ডে গ্রেনকে ধরা হইত ভরের একক। এখনও ডাক্তাররা ভরের একক হিসাবে গ্রেন ব্যবহার করিয়া থাকেন। হিসাব করিয়া দেখা গিয়াছে এক পাউণ্ড = 7000 গ্রেন (আনুমানিক)।

কিছুদিন আগেও আমাদের দেশে বস্তুর ভর মাপিবার জন্য তোলা, সের, মণ ইত্যাদি ব্যবহার করা হইত। বর্তমানে এদেশে সি. জি. এস্. পদ্ধতি অনুসারে গ্রাম, কিলোগ্রাম ইত্যাদি ভরের একক হিসাবে প্রচলিত হইয়াছে।

1·7. সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতির একক-সমূহের পারস্পরিক সম্পর্ক ঃ

(ক) **দৈর্ঘ্য—এক ইঞ্চি** = 2·54 সেন্টিমিটার (সে. মি. cm.),

এক ফুট = 12 × 2·54 = 30·48 সে. মি. (cm.),

এক গজ = 3 ফুট = 3 × 30·48 = 91·44 সে. মি. (cm.)

$= \frac{91 \cdot 44}{100} = 0 \cdot 9144$ মিটার (Metre);

আবার, **এক সেন্টিমিটার** $= \frac{1}{2 \cdot 54} = 0 \cdot 394$ ইঞ্চি (Inch) আনুমানিক

$= \frac{1}{12 \times 2 \cdot 54} = 0 \cdot 0328$ ফুট (ft.) আনুমানিক,

অনুরূপভাবে, **এক মাইল** = 1760 গজ = 1760 × 0·9144 মিটার

$= \frac{1760 \times 0 \cdot 9144}{1000} = 1 \cdot 6093$ কিলোমিটার (km.)

এবং **এক কিলোমিটার** $= \frac{1}{1 \cdot 6093} = 0 \cdot 6214$ মাইল।

(খ) **ভর—এক পাউণ্ড** = 453·6 গ্রাম (আনুমানিক)

$= \frac{453 \cdot 6}{1000} = 0 \cdot 4536$ কিলোগ্রাম ;

এক কিলোগ্রাম = 2·20 পাউণ্ড (আনুমানিক)।

(গ) **সময়**—সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. উভয় পদ্ধতিতেই সময়ের একক এক সেকেণ্ড (second, সংক্ষেপে sec.)।

1·8. অন্যান্য কয়েকটি রাশির একক : ইতিপূর্বে আমরা তিনটি মূল একক (দৈর্ঘ্য, ভর এবং সময়ের একক) সম্বন্ধে আলোচনা করিয়াছি। এখন এই তিনটি মূল এককের সাহায্যে কিভাবে অন্যান্য রাশির একক নির্ধারিত হয় তাহা নিম্নে দেখানো হইল। এই এককগুলিকে লব্ধ একক (Derived Unit) বলা হয়।

(ক) **ক্ষেত্রফলের একক** (Unit of Area)—একক দৈর্ঘ্যের এবং একক প্রস্থের বর্গক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলকে ধরা হয় **একক ক্ষেত্রফল**।

সুতরাং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ক্ষেত্রফলের একক = 1 সে. মি. × 1 সে. মি.
= 1 বর্গ সে. মি. (sq. cm.)

এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে " " = 1 ফুট × 1 ফুট
= 1 বর্গফুট (sq. ft.)।

(খ) **আয়তনের একক** (Unit of Volume)—একক দৈর্ঘ্য, একক প্রস্থ এবং একক উচ্চতা-সম্পন্ন একটি ঘনকের আয়তনকে বলা হয় **একক আয়তন**। সুতরাং

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে আয়তনের একক = 1 সে. মি. × 1 সে. মি. × 1 সে. মি.
= 1 ঘন সে. মি. (cubic centemetre, সংক্ষেপে c. c.)

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে আয়তনের ব্যবহারিক একক হইল এক লিটার (litre)

1 লিটার = 1000 সি. সি. (c. c.)

সুতরাং 1 সি. সি = $\frac{1}{1000}$ লিটার
= 1 মিলিলিটার (millilitre, সংক্ষেপে ml.)

(অনেক সময় আয়তনের একক, ঘন সে. মি. (c.c.) এর পরিবর্তে মিলিলিটার(ml.) লেখা হয়।)

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে আয়তনের একক = 1 ফুট × 1 ফুট × 1 ফুট
= ঘনফুট (cubic foot, সংক্ষেপে c. ft.)

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে আয়তনের ব্যবহারিক একক—1 গ্যালন (gallon),
1 ঘনফুট (c. ft.), ইত্যাদি।

(1 গ্যালন = 0·16 ঘনফুট)

সি. জি. এস্. ও এফ্. পি. এস্. পদ্ধতির আয়তনের এককের সম্বন্ধ—

1 ঘনফুট $= 30{\cdot}48 \times 30{\cdot}48 \times 30{\cdot}48$ ঘন সেন্টিমিটার (c.c.)

$= 28320$ ঘন সে. মি. (c.c.) আনুমানিক

$= 28{\cdot}32$ লিটার (litre) আনুমানিব।

(গ) **ঘনত্বের একক** (Unit of Density)—কোন বস্তুর প্রতি একক আয়তনে যে পরিমাণ ভর (Mass) থাকে তাহাকে বলা হয় বস্তুর **ঘনত্ব** (Density)। মনে কর, যদি V নির্দেশ করে কোন বস্তুর আয়তন এবং M নির্দেশ করে ঐ আয়তনবিশিষ্ট বস্তুর ভর, তাহা হইলে উপরোক্ত সংজ্ঞা অনুযায়ী ঐ বস্তুর ঘনত্ব (মনে কর, D) গাণিতিক সঙ্কেতে নিম্নরূপে লেখা যায়

$$D = \frac{M}{V} = \text{প্রতি একক আয়তনের ভর।}$$

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ভর প্রকাশ করা হয় গ্রামে এবং আয়তন প্রকাশ করা হয় ঘন-সেন্টিমিটারে। সুতরাং এই পদ্ধতিতে **ঘনত্ব প্রকাশ করা হয় গ্রাম প্রতি ঘন-সেন্টিমিটারে** (gm./c.c.).

যখন কোন বস্তুর এক ঘন-সেন্টিমিটার আয়তনে এক গ্রাম ভর থাকে তখন আমরা বলি সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ঐ বস্তুর ঘনত্ব এক একক $\frac{1 \text{ gm.}}{1 \text{ c.c.}} = 1$ gm /c.c. যেমন, আমরা বলিয়া থাকি সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে 4°C (ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড) তাপ-মাত্রায় বিশুদ্ধ জলের ঘনত্ব এক একক অর্থাৎ 1 C. G. S. Unit বা 1 gm./c.c.

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ভর প্রকাশ করা হয় পাউণ্ডে (lbs.) এবং আয়তন প্রকাশ করা হয় ঘনফুটে (c.ft.)। সুতরাং **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্ব প্রকাশ করা হয় পাউণ্ড প্রতি ঘনফুটে** (lbs./c.ft.)। কোন বস্তুর এক ঘনফুট আয়তনের ভর এক পাউণ্ড হইলে উহার ঘনত্ব বলা হয় এক এফ্. পি. এস্. একক—

$$\frac{1 \text{ lb.}}{1 \text{ c.ft.}} = 1 \text{ lb./c.ft.}$$

স্মরণ রাখিতে হইবে আমাদের জানিত কোন বস্তুর ঘনত্ব এক এফ্. পি. এস্. একক নাই। যদিও জলের ঘনত্ব সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে এক একক কিন্তু এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব 62·5 lbs./c.ft., অর্থাৎ প্রতি ঘনফুট জলের ভর 62·5 lbs.। সুতরাং আমরা বলিতে পারি সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে যদি কোন বস্তুর ঘনত্ব হয় D, তাহা হইলে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঐ বস্তুর ঘনত্ব হইবে $D \times 62{\cdot}5$ lbs./c.ft.

উদাহরণ (1) একখণ্ড পিতলের ভর 430 gms. এবং উহার আয়তন 50 c.c.। পিতলের ঘনত্ব সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে নির্ণয় কর। [The mass

of a piece of brass is 430 gms. and its volume is 50 c.c. Calculate the density of brass in C. G. S. and F. P. S. systems.]

উত্তর। পিতলের ঘনত্ব = $\frac{\text{পিতলখণ্ডের ভর}}{\text{পিতলখণ্ডের আয়তন}}$;

এক্ষেত্রে পিতলখণ্ডের ভর = 430 gms.

এবং " " আয়তন = 50 c.c.

সুতরাং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে পিতলের ঘনত্ব $= \frac{430}{50} = 8{\cdot}6$ gms./c.c.

পূর্বেই দেখানো হইয়াছে কোন বস্তুর ঘনত্ব সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে যদি নির্ণীত হয় D gms./c.c., তাহা হইলে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে উহার ঘনত্ব $= D \times 62{\cdot}5$ lbs./c.ft. হইবে। অতএব, এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে পিতলের ঘনত্ব $= 8{\cdot}6 \times 62{\cdot}5 = 537{\cdot}5$ lbs./c.ft.।

(2) একটুকরা তামার নিরেট চোঙের দৈর্ঘ্য $l = 10$ cm., ব্যাসার্ধ $r = 1$ cm. এবং ভর $m = 280{\cdot}4$ gm.। সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে তামার ঘনত্ব নির্ণয় কর। [A solid cylinder of copper has length $l = 10$ cm., radius $r = 1$ cm. and mass $m = 280{\cdot}4$ gms. Calculate the density of copper in C. G. S. and F. P. S. systems.]

উত্তর। এক্ষেত্রে চোঙের আয়তন $V = l \times \pi r^2$

$= 10 \times 3{\cdot}14 \times 1^2$ ($\because \pi = \frac{22}{7} = 3{\cdot}14$)

$= 31{\cdot}4$ c.c.

সুতরাং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে তামার ঘনত্ব $= \frac{280{\cdot}4}{31{\cdot}4} = 8{\cdot}93$ gms./c.c.

এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে উহার ঘনত্ব $= 8{\cdot}93 \times 62{\cdot}5 = 558$ lbs./c.ft.

(3) পূর্বে পেট্রোল গ্যালন হিসাবে বিক্রয় হইত। এখন উহা লিটার হিসাবে বিক্রয় হয়। যদি কেহ এক গ্যালনের পরিবর্তে 5 লিটার পেট্রোল ক্রয় করে তাহা হইলে তাহাকে শতকরা কত অধিক মূল্য দিতে হইবে তাহা নির্ণয় কর (দেওয়া হইল, এক গ্যালন জলের ওজন = 10 পাউণ্ড)। [Petrol, which was used to be sold in gallons is now sold in litres. Find the percentage of excess price one has to pay, if instead of 1 gallon one purchases 5 litres of petrol. (given 1 gallon of water weighs 10 lbs.)]

উত্তর। এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে গ্যালন আয়তনের ব্যবহারিক একক।

প্রশ্নে দেওয়া আছে, এক গ্যালন জলের ওজন = 10 পাউণ্ড

(অর্থাৎ উহার ভর 10 পাউণ্ড)

আমরা জানি $\text{আয়তন} = \dfrac{\text{ভর}}{\text{ঘনত্ব}}$;

সুতরাং এক গ্যালন জলের আয়তন $= \dfrac{10}{62 \cdot 5}$ c.ft.

(∵ এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব 62·5 lbs./c.ft.)

আমরা জানি $1 \text{ c.ft.} = 30 \cdot 48 \times 30 \cdot 48 \times 30 \cdot 48 \text{ c.c.}$

$= 28 \cdot 32$ litres (আনুমানিক)

সুতরাং $1 \text{ gallon} = 28 \cdot 32 \times \dfrac{10}{62 \cdot 5} = 4 \cdot 53$ litres.

এখন মনে কর, এক গ্যালন পেট্রোলের মূল্য = এক টাকা,

তাহা হইলে 4·53 লিটার " " = এক টাকা হইবে

এবং 5 লিটার " " $= \dfrac{5}{4 \cdot 53} = 1 \cdot 1$ টাকা ;

সুতরাং পেট্রোলের অতিরিক্ত ক্রয়মূল্য = 1·1 − 1 = 0·1 টাকা

এবং শতকরা হিসাবে উহার অতিরিক্ত মূল্য = 0·1 × 100 = 10%.

1·9. সি. জি. এস্. বা মেট্রিক পদ্ধতির সুবিধা : আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে, কোন একটি রাশির পরিমাণ বিভিন্ন ব্যবহারিক এককের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। সি. জি. এস্. বা মেট্রিক পদ্ধতিতে একটি রাশির পরিমাণ এক একক হইতে উহার পরবর্তী গুণিতক বা পূর্ববর্তী ভগ্নাংশ এককে প্রকাশ করিতে গেলে দশ দিয়া ভাগ বা গুণ করিতে হয়। এ কারণে এই পদ্ধতিকে **দশমিক পদ্ধতি** (Decimal system) বলা হয়।

মনে কর, কোন বস্তুর দৈর্ঘ্যের পরিমাণ 30 মিটার। মিটারের পরবর্তী গুণিতক একক হইল—ডেকামিটার। কাজেই ঐ বস্তুর দৈর্ঘ্য ডেকামিটারে প্রকাশ করিতে গেলে 30 কে 10 দিয়া ভাগ করিলেই চলে (অর্থাৎ 30 মিটার $= \frac{30}{10} = 3$ ডেকামিটার)। আবার মিটারের পূর্ববর্তী ভগ্নাংশ একক হইল—ডেসিমিটার। এখন ঐ দৈর্ঘ্য ডেসিমিটারে প্রকাশ করিতে গেলে 30 কে 10 দিয়া গুণ করিতে হইবে (অর্থাৎ 30 মিটার = 30 × 10 = 300 ডেসিমিটার)। অনুরূপভাবে ভরের ক্ষেত্রে কোন একককে দশ দিয়া ভাগ বা গুণ করিয়া পরবর্তী বা পূর্ববর্তী এককে পৌঁছানো যায়। যেমন, 1 গ্রাম = 10 ডেসিগ্রাম = 100 সেন্টিগ্রাম = 1000 মিলিগ্রাম = 0·1 ডেকাগ্রাম = 0·01 হেক্টোগ্রাম = 0·001 কিলোগ্রাম, ইত্যাদি।

সুতরাং আমরা দেখিতে পাই যে, সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে দশমিক বিন্দুকে (Decimal point) ডানদিকে বা বাঁদিকে সরাইলে এক একক হইতে উহার পরবর্তী বা পূর্ববর্তী এককে পৌছানো যায়। কিন্তু এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে এইরূপ সহজ উপায়ে এককের পরিবর্তন করা যায় না। এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে একক-পরিবর্তনের বিভিন্ন ক্ষেত্রে বিভিন্ন সংখ্যা দিয়া গুণ বা ভাগ করিতে হয়। যেমন,

$$6 \text{ ফুট} = \tfrac{6}{3} = 2 \text{ গজ} = 6 \times 12 = 72 \text{ ইঞ্চি, ইত্যাদি।}$$

দশমিক পদ্ধতির এই সুবিধার জন্য অধিকাংশ দেশে এই পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। সম্প্রতি আমাদের দেশেও এই পদ্ধতি চালু হইয়াছে।

সারাংশ

প্রাকৃতিক রাশি দুইপ্রকারের—(1) স্কেলার এবং (2) ভেক্টর।

একক—কোন রাশির পরিমাণ ব্যক্ত করিবার সময় যে মান বা মাত্রার আশ্রয় লওয়া হয় তাহাকে ঐ রাশির একক বলে।

এককের বিভিন্ন পদ্ধতি—(1) সি. জি. এস্., (2) এফ্. পি. এস্. এবং (3) এম্. কে. এস্.।

প্রাথমিক বা মূল একক—দৈর্ঘ্য, ভর এবং সময়ের একক।

কয়েকটি লব্ধ একক—

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ক্ষেত্রফলের একক—1 বর্গ-সে.মি. (sq. cm.)
এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে " " —1 বর্গফুট (sq. ft.)
সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে আয়তনের একক—1 ঘন-সে.মি. (c.c.)
" " " ব্যবহারিক একক—1 লিটার (litre)
এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে আয়তনের একক—1 ঘনফুট (c. ft.)।
" " " ব্যবহারিক একক—1 গ্যালন
সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্বের একক—1 গ্রাম প্রতি ঘন-সে.মি. (gm./c.c.)
এফ্. পি. এস্. " " " —1 পাউণ্ড প্রতি ঘনফুট (lb./c.ft.)

প্রশ্নমালা

1. তিনটি মূল বা প্রাথমিক এককের নাম কর। লব্ধ একক বলিতে কি বোঝ? [Name the three fundamental units. What do you mean by a derived unit ?]

2. সাধারণতঃ কয়টি পদ্ধতিতে মূল এককগুলি ব্যক্ত করা হয়? [What are the systems commonly used for expressing the three fundamental units ?]

3. নিম্নলিখিত এককগুলির সংজ্ঞা দাও : (i) মিটার এবং সেন্টিমিটার, (ii) গজ এবং ফুট, (iii) কিলোগ্রাম এবং গ্রাম, (iv) গড় সৌরদিবস এবং (v) সেকেণ্ড। [Define the following units : (i) metre and centimetre, (ii) yard and foot, (iii) kilogramme and gramme, (iv) average solar day and (v) second.]

4. সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্য মাপিবার বিভিন্ন ব্যবহারিক এককগুলির নাম কর। [Mention the names of practical units of measurement of length in both C. G. S. and F. P. S. systems.]

5. সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ভর মাপিবার ব্যবহারিক এককগুলির নাম কর। [Mention the names of practical units of measurement of mass in both C. G. S. and F. P. S. systems.]

6. সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতির মূল একক তিনটির পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর। [Calculate the relation between three fundamental units in C. G. S. and F. P. S. systems.]

7. রেলপথে হাওড়া স্টেশন হইতে দিল্লীর দূরত্ব 903 মাইল। কিলোমিটারে ইহার দূরত্ব নির্ণয় কর। [The distance between Howrah and Delhi by Rail is 903 miles. Express the distance in kilometers.]

Hints : 1 km. = ·62 mile (approx.) [*Ans.* 1456 km.]

8. এক মণ চাউল কিলোগ্রামে প্রকাশ কর। [Express one maund of rice in kilogrammes.]

Hints : 1 md. = 82·2 lbs (approx.)

1 kilogramme = 2·2 lbs. (approx.) [*Ans.* 37·36 kg.]

9. ঘনত্বের সংজ্ঞা লিখ এবং সি. জি. এস্. ও এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্বের একক প্রকাশ কর। [Define the density of a substance and express its units in C. G. S. and F. P. S. systems.]

10. বস্তুর ভর, আয়তন এবং ঘনত্বের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক কি তাহা বুঝাইয়া দাও। [Explain the relation between mass, density and volume of a substance.]

11. একক প্রকাশে আমরা সাধারণতঃ কি কারণে দশমিক পদ্ধতি ব্যবহার করিয়া থাকি? [Why do we commonly use decimal system in expressing units ?]

12. যদি 40 সের = 82·2 পাউণ্ড হয় তাহা হইলে এক সের অপেক্ষা এক কিলোগ্রাম কতটা ভারী তাহা গ্রামে নির্ণয় কর। [How much heavier is a kilogramme than a seer, if 40 seers weigh 82·2 lbs. ? Express the result in gms.—H. S.]

Hints : 1 সের $= \frac{82 \cdot 2}{40}$ পাউণ্ড

1 পাউণ্ড = 453·6 গ্রাম। [*Ans.* 67·86 gms.]

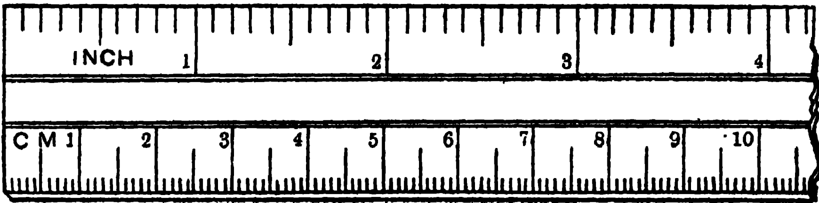
দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল এবং আয়তন মাপিবার পদ্ধতি

(Measurement of Length, Area and Volume)

2·1. দৈর্ঘ্যের পরিমাপঃ ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ইঞ্চি, সেন্টিমিটার প্রভৃতির অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ভগ্নাংশ হইতে আরম্ভ করিয়া সহস্র সহস্র মাইল, কিলোমিটার পর্যন্ত দৈর্ঘ্যের পরিমাপ প্রয়োজন হয়। এই বিভিন্ন প্রকারের দৈর্ঘ্য মাপার জন্য বিভিন্ন ধরনের যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। অপেক্ষাকৃত ছোট দৈর্ঘ্য মাপার জন্য মিটার স্কেল, স্লাইড ক্যালিপার্স, স্ক্রু-গেজ, স্ফেরোমিটার ইত্যাদি এবং বড় দৈর্ঘ্য মাপার জন্য টেপ, চেন ইত্যাদি ব্যবহার করা হয়। বিজ্ঞান-ক্লাসে তোমরা দৈর্ঘ্য পরিমাপের যে-সকল যন্ত্র ব্যবহার করিবে তাহাদের বিষয় নীচে আলোচনা করা হইল। এক্ষেত্রে মনে রাখিবে, বস্তুর প্রস্থ (Breadth), বেধ (Thickness), ব্যাস (Diameter) ইত্যাদি, দৈর্ঘ্যের অনুরূপ রাশি এবং ইহাদিগকেও দৈর্ঘ্যের এককে প্রকাশ করিতে হয়।

2·2. মিটার স্কেল (Metre Scale)ঃ একটি এক মিটার লম্বা শীতাতপে দৃঢ়ীভূত (Seasoned) চৌকা পাতলা কাষ্ঠফলক দিয়া মিটার স্কেল সাধারণতঃ নির্মিত

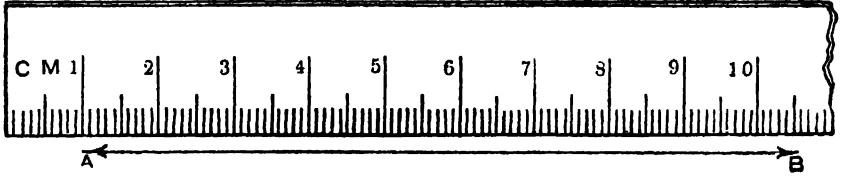


চিত্র 2A

হয়। এই কাষ্ঠফলকটির একই পৃষ্ঠের এক অংশে ইঞ্চি ও উহার এক-দশমাংশে এবং অপর অংশে সেন্টিমিটার ও মিলিমিটারে অংশাঙ্কিত (Graduated) করা থাকে। 2A চিত্রে একটি মিটার স্কেল দেখানো হইল। এই স্কেলের সাহায্যে একটি বস্তুর দৈর্ঘ্য এক মিলিমিটার অথবা ইঞ্চির এক-দশমাংশ পর্যন্ত নির্ভুলভাবে মাপা যায়।

মিটার স্কেলের ব্যবহার—মনে কর, AB দণ্ডের (চিত্র 2B) দৈর্ঘ্য সেন্টিমিটারে মাপিতে হইবে। প্রথমে স্কেলটির যে অংশ সে. মি. অংশাঙ্কিত (Graduated) তাহা AB বরাবর খাড়াভাবে বসাও। এবার স্কেলটি AB দণ্ডের

সমান্তরালে এমনভাবে সরাও যাহাতে ঐ দণ্ডের A প্রান্ত স্কেলের কোন বড় দাগ স্পর্শ করিয়া থাকে। এখন দণ্ডের উভয় প্রান্তের অবস্থান পাঠ কর। 2B চিত্রে দণ্ডের A প্রান্ত 1 সে. মি. দাগে আছে এবং B প্রান্ত স্কেলের 10·5 ও 10·6 সে. মি. দাগ দুইটির মধ্যে আছে। যেহেতু মিটার স্কেলে মিলিমিটারের ভগ্নাংশ থাকে না, কাজেই



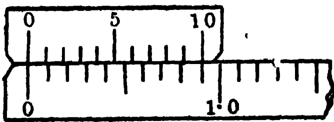
চিত্র 2B

B প্রান্ত 10·5 ও 10·6 সে.মি.-র মধ্যে কোন্ জায়গাতে আছে তাহা চোখের অনুমানে (Eye-estimation) ঠিক করিতে হইবে। অর্থাৎ 10·5 হইতে 10·6 সে.মি. এই এক মিলিমিটারকে মনে মনে দশ ভাগে ভাগ করিয়া উহার কোন্ অংশে দণ্ডের B প্রান্ত আছে তাহা ঠিক করিতে হইবে। মনে কর, B প্রান্ত এই কাল্পনিক দাগের 6 ঘরে আছে। অতএব এক্ষেত্রে B প্রান্তের পাঠ দাঁড়াইল 10·56 সে.মি.। সুতরাং AB দণ্ডের মোট **দৈর্ঘ্য = B প্রান্তের পাঠ – A প্রান্তের পাঠ**

= 10·56 সে.মি. – 1 সে.মি. = 9·56 সে.মি.।

অনেক সময় মিটার স্কেলের সকল অংশের দাগ সমান দূরত্বের থাকে না। এই কারণে দণ্ডটিকে স্কেলের বিভিন্ন স্থানের সংস্পর্শে রাখিয়া কয়েকবার উহার দৈর্ঘ্য মাপিতে হয়। এই মাপগুলির গড় নিলে যে সংখ্যা পাওয়া যায় উহাই মোটামুটিভাবে দণ্ডের সঠিক দৈর্ঘ্য নির্দেশ করে।

2·3. ভার্নিয়ার স্কেল (Vernier scale) : উপরের (2·2) অনুচ্ছেদে দেখানো হইয়াছে যে সাধারণ মিটার স্কেলের সাহায্যে এক মিলিমিটারের ভগ্নাংশ পাঠ চোখের আন্দাজে (Eye-estimation) লইতে হয়। এবার আমরা যে স্কেলের কথা বলিব তাহা দিয়া এক মিলিমিটারের ভগ্নাংশ সঠিকভাবে পাঠ করা সম্ভব হয়। এই স্কেলের আবিষ্কর্তা ফরাসী গণিতবিদ্ পি. ভার্নিয়ারের নাম অনুসারে ইহার নাম দেওয়া হইয়াছে ভার্নিয়ার স্কেল। 2C চিত্রে দৈর্ঘ্য মাপিবার একটি ভার্নিয়ার স্কেলের নমুনা দেখানো হইল। চিত্র অনুযায়ী আমরা দেখিতে পাই যে এই যন্ত্রে একজোড়া স্কেল থাকে। অপেক্ষাকৃত লম্বা নীচের স্কেলটিকে মূল স্কেল (Main scale)



চিত্র 2C

বলে এবং এই মূল স্কেলের উপর যে ছোট আর একটি স্কেল বসানো আছে তাহাকে ভার্নিয়ার স্কেল (Vernier scale) বলে। ভার্নিয়ার স্কেলটি এমনভাবে বসানো থাকে যে, উহাকে সহজেই মূল স্কেলের গা বরাবর এদিক-ওদিক সরানো সম্ভব হয়। এই ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে দৈর্ঘ্য ইত্যাদি মাপিতে হইলে সর্বপ্রথম ভার্নিয়ার-ধ্রুবক (Vernier constant) নির্ণয় করা দরকার।

ভার্নিয়ার-ধ্রুবক নির্ণয়-পদ্ধতি—2C চিত্রে যে ভার্নিয়ার স্কেলটি দেখানো হইয়াছে তাহা দশটি সমানভাগে বিভক্ত এবং ভার্নিয়ারের এই দশ ঘর মূল স্কেলের ছোট নয় ঘরের সমান। এখন মনে কর, মূল স্কেলের ছোট এক ঘর এক মিলিমিটারের সমান। অতএব

ভার্নিয়ার স্কেলের 10 ঘর = 9 মি.মি. (m.m.)

∴ " " 1 " = $\frac{9}{10}$ "

সুতরাং 1 ঘর মূল স্কেল – 1 ঘর ভার্নিয়ার স্কেল = $1 - \frac{9}{10} = \frac{1}{10}$ মি. মি. (m.m.)
= $\frac{1}{100}$ সে.মি. (cm.)

মূল স্কেলের এক ঘর এবং ভার্নিয়ার স্কেলের এক ঘরের দৈর্ঘ্যের এই পার্থক্যকে ভার্নিয়ার-ধ্রুবক (Vernier Constant) **বলা হয়।** আলোচ্য ক্ষেত্রে $\frac{1}{10}$ মি.মি. বা $\frac{1}{100}$ সে.মি. হইল ভার্নিয়ার-ধ্রুবক। কাজেই এই ভার্নিয়ারটির সাহায্যে এক মিলিমিটারের দশ ভাগের এক ভাগ বা এক সেন্টিমিটারের একশত ভাগের এক ভাগ নির্ভুলভাবে মাপা যায়।

উপরের উদাহরণ হইতে দেখা যায় যদি

ভার্নিয়ার স্কেলের n ঘর = মূল স্কেলের $(n-1)$ ঘর,

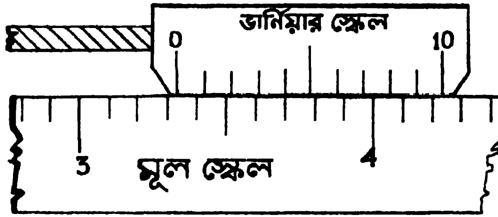
অর্থাৎ, " " 1 " = " $\frac{n-1}{n}$ ঘর হয়।

তাহা হইলে, ভার্নিয়ার-ধ্রুবক = $\left(1 - \frac{n-1}{n}\right) = \frac{1}{n}$ × মূল স্কেলের এক ঘরের দৈর্ঘ্য।

ভার্নিয়ার স্কেল ব্যবহার করিতে গেলে প্রথমে উপরের সূত্রের (Formula) সাহায্যে ভার্নিয়ার-ধ্রুবক নির্ণয় করিতে হইবে।

ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে দৈর্ঘ্য মাপিবার পদ্ধতি—2D চিত্রে একটি ভার্নিয়ার যন্ত্র সহজ করিয়া দেখানো হইল। এখানে বুঝিবার সুবিধার জন্য মূল স্কেলের ঘরগুলি একটু বড় করিয়া দেখানো হইয়াছে এবং ইহার প্রতিটি ঘর এক মিলিমিটারের সমান কল্পনা করা হইয়াছে। অনুরূপভাবে ভার্নিয়ারের দশটি ঘরও বড় করিয়া আঁকা

হইয়াছে এবং ভার্নিয়ারের এই 10 ঘর মূল স্কেলের 9 ঘরের সমান করা হইয়াছে।



চিত্র 2D

অতএব এক্ষেত্রে ভার্নিয়ার-ধ্রুবক হইল এক মিলিমিটারের এক-দশমাংশ অর্থাৎ $\frac{1}{10}$ মি.মি. বা $\frac{1}{100}$ সে.মি.।

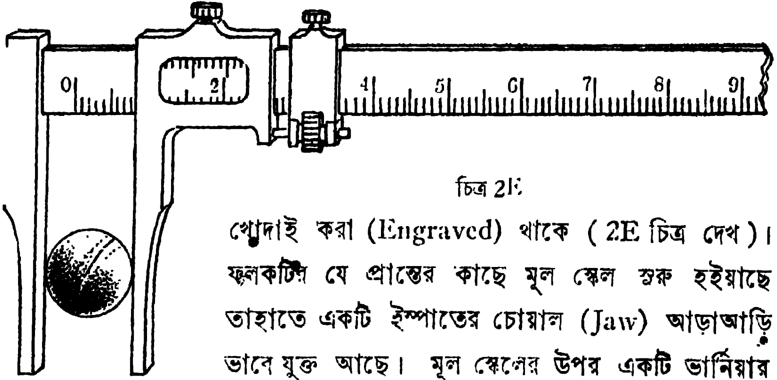
এখন মনে কর, এই ভার্নিয়ার যন্ত্রটির সাহায্যে একটি ছোট দণ্ডের দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে। প্রথমে মূল স্কেলের বাম প্রান্ত ভার্নিয়ারের বাম প্রান্তের সাথে মিলাও। স্কেল-অঙ্কন নির্ভুল থাকিলে দেখিতে পাইবে যে, মূল স্কেলের শূন্য দাগ ও ভার্নিয়ারের সূচক (অর্থাৎ ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ) এক লাইনে মিলিয়া গিয়াছে। এবার ভার্নিয়ার স্কেলটিকে মূল স্কেলের গা বরাবর কিছুদূর ডানদিকে সরাইয়া দণ্ডটিকে এমনভাবে বসাও যাহাতে দণ্ডের একপ্রান্ত মূল স্কেলের বাম প্রান্ত স্পর্শ করিয়া এবং উহার অপরপ্রান্ত ভার্নিয়ারের বাম প্রান্ত স্পর্শ করিয়া থাকে। এই অবস্থায় ভার্নিয়ারের সূচকের অবস্থান পাঠ কর। উহাই নির্দেশ করে দণ্ডের যে প্রান্ত ভার্নিয়ারের সংস্পর্শে আছে তাহার অবস্থান। 2D চিত্রে সূচকটি মূল স্কেলের 3·3 ও 3·4 সে.মি. দাগ দুইটির মধ্যে আছে। সুতরাং এক্ষেত্রে **মূল স্কেলের পাঠ হইল 3·3 সে. মি.।** এবার 3·3 সে.মি. হইতে দণ্ডের প্রান্ত পর্যন্ত বাকী অংশের পাঠ ভার্নিয়ারের সাহায্যে লইতে হইবে। ভার্নিয়ারের দাগগুলি পর পর লক্ষ্য করিলে দেখিবে উহার একটিমাত্র দাগ মূল স্কেলের একটি দাগের সাথে মিলিয়া গিয়াছে। আলোচ্য ক্ষেত্রে ভার্নিয়ারের 4 নম্বর দাগ মূল স্কেলের সাথে মিলিয়াছে। অতএব ভার্নিয়ারের পাঠ হইল 4 ঘর। এক্ষেত্রে যেহেতু ভার্নিয়ার-ধ্রুবক হইল $\frac{1}{100}$ = ·01 সে.মি., অতএব দণ্ডের বাকী অংশের পাঠ হইল 4 × ·01 = ·04 সে.মি.। সুতরাং, দণ্ডটির

মোট দৈর্ঘ্য = মূল স্কেলের পাঠ + ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ × ভার্নিয়ার-ধ্রুবক
= 3·3 সে.মি. + 4 × ·01 সে.মি. = 3·34 সে.মি.।

বস্তুর দৈর্ঘ্য, প্রস্থ, বেধ, ব্যাস ইত্যাদি পরিমাপের জন্য ভার্নিয়ার স্কেল বিবিধ যন্ত্রে ব্যবহার করা হয়। পরবর্তী (2·4), (2·5) এবং (2·6) অনুচ্ছেদে ভার্নিয়ার স্কেল সমন্বিত কয়েকটি যন্ত্র সম্বন্ধে আলোচনা করা হইল।

2·4. স্লাইড ক্যালিপার্স (Slide Calipers): উপরের (2·3) অনুচ্ছেদে বর্ণিত সহজ ভার্নিয়ারের নীতি অবলম্বনে এই স্লাইড ক্যালিপার্স যন্ত্র তৈরী হইয়াছে। এই যন্ত্র দিয়া একটি বর্তুলের ব্যাস, ছোট দৈর্ঘ্য ইত্যাদি মাপা যায়।

যন্ত্রের বিবরণ—এই যন্ত্রে একটি আয়তাকার ইস্পাত-ফলকের উপর মূল স্কেলটি



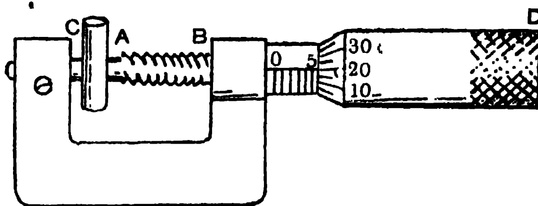
চিত্র 2E

খোদাই করা (Engraved) থাকে (2E চিত্র দেখ)। ফলকটির যে প্রান্তের কাছে মূল স্কেল সুরু হইয়াছে তাহাতে একটি ইস্পাতের চোয়াল (Jaw) আড়াআড়ি ভাবে যুক্ত আছে। মূল স্কেলের উপর একটি ভার্নিয়ার স্কেল এমনভাবে বসানো থাকে যাহাতে উহা মূল স্কেলের গা বরাবর সহজে যাতায়াত করিতে পারে। এই ভার্নিয়ার স্কেলটিকে প্রয়োজনমত ধীরে ধীরে সরাইবার জন্য স্ক্রুর ব্যবস্থা আছে। ভার্নিয়ার স্কেলের বাম প্রান্তে মূল স্কেলের অনুরূপ আর একটি চোয়াল (Jaw) লাগানো আছে। এই চোয়াল দুইটি যখন পরস্পরকে স্পর্শ করিয়া থাকে তখন মূল স্কেলের শূন্য দাগ ও ভার্নিয়ারের সূচক (শূন্য দাগ) এক লাইনে মিলিয়া যায়। সাধারণতঃ মূল স্কেলটি সেন্টিমিটার ও মিলিমিটারে অংশাঙ্কিত (Graduated) থাকে এবং ভার্নিয়ার স্কেলটিতে দশটি সমান ঘর থাকে। ভার্নিয়ারের এই 10 ঘর মূল স্কেলের 9 ঘরের সমান করা হয়। সুতরাং, ভার্নিয়ার-ধ্রুবক $\frac{1}{10}$ মি.মি. বা $\frac{1}{100}$ সে.মি. হয়। কতকগুলি স্লাইড ক্যালিপার্সে মূল স্কেল ইঞ্চি ও সেন্টিমিটার এই দুইরকমের থাকে এবং উহাদের ভার্নিয়ার স্কেলও দুইরকমের থাকে।

কার্যপদ্ধতি—মনে কর, এই ক্যালিপার্স যন্ত্রের সাহায্যে একটি গোলকের ব্যাস (Diameter) মাপিতে হইবে। প্রথমে চোয়াল দুইটি গায়ে গায়ে লাগাইয়া দাও। স্কেল-অঙ্কন নির্ভুল থাকিলে দেখিতে পাইবে ভার্নিয়ারের সূচকটি মূল স্কেলের শূন্য দাগের সাথে এক লাইনে অবস্থান করে। এবার পরীক্ষাধীন গোলকটি চোয়াল দুইটির মধ্যে রাখিয়া ভার্নিয়ারটিকে স্ক্রুর সাহায্যে গোলকের দিকে সরাইতে থাক যতক্ষণ পর্যন্ত না চোয়াল দুইটি গোলককে স্পর্শ করে। এই অবস্থায় মূল স্কেল ও ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ লও। এই দুই স্কেলের পাঠ হইতে গোলকের ব্যাস পাওয়া যাইবে।

গোলকের ব্যাস = মূল স্কেলের পাঠ + ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ × ভার্নিয়ার ধ্রুবক। দুই চোয়ালের মধ্যে গোলকটিকে ঘুরাইয়া ঘুরাইয়া উহার বিভিন্ন অবস্থানের জন্য কয়েকবার এইভাবে ব্যাস মাপ। এই মাপগুলির গড় লইলে গোলকের গড় ব্যাস (Average Diameter) পাওয়া যাইবে।

2·5. স্ক্রু-গেজ বা মাইক্রোমিটার স্ক্রু (Screw-Gauge or Micrometer Screw) : পূর্ববর্ণিত সাধারণ ভার্নিয়ার স্কেল এবং স্লাইড ক্যালিপার্স যন্ত্রের সাহায্যে ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য নিখুঁতভাবে মাপা যায় না। আমরা সাধারণতঃ ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্য, যথা—সরু তারের ব্যাস (Diameter), খুব পাতলা পাতের বেধ (Thickness) ইত্যাদি মাপিবার জন্য স্ক্রু-গেজ ব্যবহার করিয়া থাকি।



চিত্র 2F

যন্ত্রের বিবরণ—2F চিত্রে একটি স্ক্রু-গেজের নমুনা দেখানো হইয়াছে। এখানে *AB* একটি স্ক্রু-প্যাচ-কাটা দণ্ড এবং *C* একটি ছোট নিরেট দণ্ড। এই উভয় দণ্ডের মুখামুখী প্রান্তদ্বয় সমতল করা থাকে এবং উহাদের অক্ষ (axis) একই রেখায় থাকে। *AB* দণ্ডটি স্ক্রুর সাহায্যে একটি ফাঁপা চোঙের (Barrel) মধ্য দিয়া সামনে-পিছনে যাতায়াত করিতে পারে। চোঙটি এবং *C* দণ্ডটি *U* আকৃতির একটি দণ্ডের দ্বারা দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে (2F চিত্র দেখ)। ফাঁপা চোঙটির গায়ে একটি মিলিমিটার স্কেল অঙ্কিত আছে। ইহাকে "**রৈখিক স্কেল** (Linear Scale, সংক্ষেপে L. S.) বলা হয়। যে রেখাটির উপর এই অংশাঙ্কনগুলি (Graduations) থাকে উহাকে **মান রেখা** (Reference Line) বলা হয়। এই রেখাটি চোঙের অক্ষের (axis) সমান্তরাল। চোঙটি ঘিরিয়া একটি **বেষ্টনী** বা **আবরণ** (Thimble) আছে। আবরণটির যে প্রান্ত রৈখিক স্কেলের সংস্পর্শে আছে তাহার উপর একটি **বৃত্তাকার স্কেল** (Circular Scale, সংক্ষেপে C. S.) অঙ্কিত থাকে। আবরণের অপরপ্রান্তে একটি খাঁজকাটা টুপি *D* আছে। এই টুপিটি *AB* স্ক্রু-দণ্ডের সাথে যুক্ত আছে। টুপিটিকে ঘুরাইলে *AB* স্ক্রু-দণ্ড ও আবরণটি ঘুরিবে এবং একই সঙ্গে উহারা চোঙের অক্ষ বরাবর সামনে-পিছনে চলিতে পারিবে।

এই যন্ত্রটি ব্যবহার করিবার পূর্বে ইহার স্ক্রু-পিচ (Screw Pitch), লঘিষ্ঠ ধ্রুবক (Least Count) এবং শূন্য-ভ্রম (Zero Error) নির্ণয় করা প্রয়োজন। উহাদের সম্বন্ধে নীচে আলোচনা করা হইল।

স্ক্রু-পিচ ও লঘিষ্ঠ ধ্রুবক (Screw Pitch and Least Count)—প্রথমতঃ যন্ত্রটির বৃত্তাকার স্কেলের শূন্য দাগ (Zero) রৈখিক স্কেলের মান রেখার (Reference Line) সহিত মিলাইতে হইবে। অতঃপর যে আবরণের উপর বৃত্তাকার স্কেল অঙ্কিত আছে তাহা *D* টুপির সাহায্যে একবার পূর্ণ ঘুরাইতে হইবে। ইহার ফলে আবরণটি রৈখিক স্কেল বরাবর যতটা সরিয়া আসে তাহাই ঐ যন্ত্রের স্ক্রু-পিচ নির্দেশ করে। মনে কর, আমাদের বর্ণিত স্ক্রু-গেজের আবরণটি একবার পূর্ণ ঘুরাইলে উহা রৈখিক স্কেলের উপর এক দাগ অর্থাৎ 1 মি. মি. (m. m.) সরিয়া আসে। কাজেই এক্ষেত্রে স্ক্রু-পিচ হইল 1 মি. মি.। এখন মনে কর, বৃত্তাকার স্কেলটি 100টি সমান ভাগে বিভক্ত। সুতরাং আবরণটির একবার পূর্ণ ঘূর্ণনে বৃত্তাকার স্কেলের 100 ঘর মান রেখা অতিক্রম করে। কাজেই বৃত্তাকার স্কেলের 1 ঘর মান রেখা অতিক্রম করিলে আবরণটি রৈখিক স্কেলের উপর দিয়া $\frac{1}{100}$ মি. মি. (m.m.) সরিয়া আসে। ইহাকেই বলা হয় লঘিষ্ঠ ধ্রুবক। নিম্নলিখিত সূত্রের সাহায্যে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক নির্ণয় করিতে হয়।

$$\text{লঘিষ্ঠ ধ্রুবক} = \frac{\text{স্ক্রু-পিচ}}{\text{বৃত্তাকার স্কেলের মোট ঘরের সংখ্যা}}।$$

এক্ষেত্রে লঘিষ্ঠ ধ্রুবক $\frac{1}{100}$ মি. মি. দেখানো হইয়াছে। সুতরাং এই স্ক্রু-গেজটির সাহায্যে এক মিলিমিটারের একশত ভাগের এক ভাগ পর্যন্ত দৈর্ঘ্য সঠিকভাবে মাপা যায়।

শূন্য-ভ্রম (Zero Error)—যন্ত্রটি ব্যবহারের পূর্বে উহার শূন্য-ভ্রম নির্ণয় করা প্রয়োজন। পূর্ববর্ণিত *D* টুপিটি ঘুরাইয়া *AB* ও *C* দণ্ড দুইটির মুখামুখী প্রান্তদ্বয় স্পর্শ করাও। যদি দেখ এই অবস্থায় রৈখিক স্কেলের শূন্য দাগ এবং বৃত্তাকার স্কেলের শূন্য দাগ এক লাইনে আছে তাহা হইলে বুঝিবে যে যন্ত্রটির শূন্য-ভ্রম নাই। কিন্তু যদি এই অবস্থায় বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ 10 ঘর হয় তাহা হইলে যন্ত্রের শূন্য-ভ্রম $10 \times \frac{1}{100} =$ ·1 মি. মি. হইবে। এই শূন্য-ভ্রম ধনাত্মক (Positive)। কাজেই যন্ত্রের সাহায্যে যে পাঠ লওয়া হয় তাহা হইতে ·1 মি. মি. বিয়োগ করিলে নির্ভুল পাঠ পাওয়া যাইবে। আবার যদি বৃত্তাকার স্কেলের শূন্য দাগ রৈখিক স্কেলের মান রেখার 10 ঘর পিছনে থাকে তাহা হইলেও যন্ত্রটির শূন্য-ভ্রম ·1 মি. মি.। কিন্তু এই ভ্রম ঋণাত্মক (Negative)। সুতরাং স্ক্রু-গেজের পাঠের সহিত ·1 মি. মি. যোগ করিলে নির্ভুল পাঠ পাওয়া যাইবে।

কার্যপদ্ধতি—মনে কর, এই স্ক্রু-গেজের সাহায্যে একটি সরু তারের ব্যাস মাপিতে হইবে। প্রথমতঃ, উপরে বর্ণিত পদ্ধতি অনুসারে যন্ত্রটির লঘিষ্ঠ ধ্রুবক ও

শূন্য-ভ্রম নির্ণয় করিতে হইবে। মনে কর, লঘিষ্ঠ ধ্রুবক $\frac{1}{100}$ m.m. এবং শূন্য-ভ্রম নাই। অতঃপর তারের টুকরাটিকে C ও A প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে রাখিয়া D টুপিটি ধীরে ধীরে ঘুরাইতে থাক যে পর্যন্ত না C ও A তারের গা স্পর্শ করে (2F চিত্র দেখ)। এই অবস্থায় রৈখিক স্কেল ও বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ লও। চিত্রে দেখানো হইয়াছে, রৈখিক স্কেলের পাঠ = 5 মি. মি. এবং বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ 20 ঘর। সুতরাং এক্ষেত্রে তারের

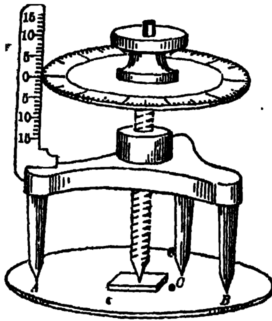
ব্যাস = রৈখিক স্কেলের পাঠ + বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ × লঘিষ্ঠ ধ্রুবক

= 5 মি. মি. + 20 × $\frac{1}{100}$ মি. মি. = 5·2 মি. মি.।

তারটিকে C ও A মধ্যে ঘুরাইয়া ঘুরাইয়া উহার ব্যাসের বিভিন্ন পাঠ লও। এই পাঠগুলির গড় নির্দেশ করে তারের সঠিক ব্যাস।

2·6. স্ফেরোমিটার (Spherometer): এই যন্ত্রটি মাইক্রোমিটার স্ক্রু যন্ত্রের পর্যায়ভুক্ত। সুতরাং এই যন্ত্রে একটি বৃত্তাকার স্কেল এবং একটি রৈখিক স্কেল থাকে। এই যন্ত্র দিয়া পাতলা পাতের বেধ (Thickness), বক্রপৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ (Radius of Curvature) ইত্যাদি মাপা যায়।

যন্ত্রের বিবরণ—2G চিত্রে একটি স্ফেরোমিটার যন্ত্র দেখানো হইয়াছে। এই যন্ত্রে সমান উচ্চতার তিনটি ধাতব পায়া একটি অনুভূমিক (Horizontal) ধাতব কাঠামোতে (Frame) দৃঢ়ভাবে লাগানো থাকে। পায়া তিনটির নিম্ন প্রান্ত সুঁচাল এবং উহারা একটি সমবাহু ত্রিভুজের শীর্ষবিন্দু A, B, C স্পর্শ করিয়া অবস্থান করে (2G চিত্র দেখ)। একটি স্ক্রু-প্যাচকাটা দণ্ড এমন ভাবে আছে যে উহা অনুভূমিক কাঠামোটির কেন্দ্র দিয়া উপরে-নীচে যাতায়াত করিতে পারে। এই দণ্ডটিরও নিম্ন প্রান্ত সুঁচাল এবং ইহা কল্পিত ABC সমবাহু ত্রিভুজের কেন্দ্রবিন্দু স্পর্শ করিতে পারে।



চিত্র 2G

স্ক্রু-দণ্ডটির উপর প্রান্তে টুপিসহ একটি বৃত্তাকার চাকতি লাগানো আছে। এই চাকতিটির পরিধিতে সমভাবে বিভক্ত একটি বৃত্তাকার স্কেল অঙ্কিত আছে এবং বৃত্তাকার স্কেলটিকে স্পর্শ করিয়া একটি রৈখিক স্কেল খাড়াভাবে কাঠামোর উপর লাগানো আছে। বৃত্তাকার স্কেলটিকে ঘুরাইলে উহা রৈখিক স্কেলের গা বাহিয়া উঠানামা করিতে পারে। রৈখিক স্কেল এক মিলিমিটার বা অর্ধ-মিলিমিটারে অংশাঙ্কিত থাকে এবং ইহার শূন্য দাগ স্কেলের মধ্যস্থলে থাকে। যন্ত্রটি ব্যবহার করিবার পূর্বে উহার লঘিষ্ঠ ধ্রুবক নির্ণয় করিতে হইবে।

লঘিষ্ঠ ধ্রুবক—মনে কর, আমাদের বর্ণিত বৃত্তাকার স্কেলটি 100টি সমান ভাগে বিভক্ত এবং রৈখিক স্কেলটি মিলিমিটারে অংশাঙ্কিত আছে। প্রথমতঃ বৃত্তাকার স্কেলটিকে ঘুরাইয়া উহার শূন্য দাগ রৈখিক স্কেলের শূন্য দাগ স্পর্শ করাও। অতঃপর মনে কর, বৃত্তাকার স্কেলের একবার পূর্ণ ঘূর্ণনে উহা রৈখিক স্কেলের গা বাহিয়া 1 ঘর অর্থাৎ 1 মি. মি. উপরে বা নীচে গিয়াছে। সুতরাং এক্ষেত্রে যন্ত্রের স্ক্রু-পিচ 1 মি. মি. এবং

$$\text{লঘিষ্ঠ ধ্রুবক} = \frac{\text{স্ক্রু-পিচ}}{\text{বৃত্তাকার স্কেলের মোট ঘর-সংখ্যা}} = \frac{1}{100} \text{ মি. মি.।}$$

বেধ মাপিবার পদ্ধতি (Measurement of Thickness)—মনে কর, স্ফেরোমিটার যন্ত্রের সাহায্যে একটুকরা পাতলা কাচফলকের বেধ মাপিতে হইবে। প্রথমতঃ যন্ত্রটিকে একটি সমতল কাচপৃষ্ঠের উপর বসাও (ইহাকে Base Plate বলা হয়)। এবার টুপিটির সাহায্যে বৃত্তাকার স্কেলটিকে ঘুরাইয়া কেন্দ্রস্থিত স্ক্রু-দণ্ডের সূঁচাল প্রান্ত ঐ কাচপৃষ্ঠে স্পর্শ করাও। যদি স্ক্রু-দণ্ডের প্রান্ত ঠিক ঠিক কাচপৃষ্ঠ স্পর্শ করিয়া থাকে তাহা হইলে কাচপৃষ্ঠ বরাবর তাকাইলে দেখিবে যে দণ্ডটির পাদবিন্দু ও উহার প্রতিচ্ছবি মিলিত হইয়াছে। এই অবস্থায় যন্ত্রটি স্পর্শ করিলে উহা ঠক্‌ঠক্ করিয়া নড়িবে না। এবার বৃত্তাকার স্কেল ও রৈখিক স্কেলের পাঠ লও। মনে কর, বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ 10 ঘর এবং বৃত্তাকার স্কেলটি রৈখিক স্কেলের শূন্য দাগ ও শূন্যের উপরিস্থিত 1 মি. মি. দাগের মধ্যে অবস্থিত। কাজেই এক্ষেত্রে রৈখিক স্কেলের পাঠ হইল শূন্য (Zero)।

সুতরাং মোট পাঠ = রৈখিক স্কেলের পাঠ + বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ × লঘিষ্ঠ ধ্রুবক

$= 0 + 10 \times \frac{1}{100} = \cdot 1$ মি. মি.। ($\frac{1}{100}$ m.m. লঘিষ্ঠ ধ্রুবক)

ইহাকে আমরা বলি প্রথম পৃষ্ঠের পাঠ (Base Plate Reading)।

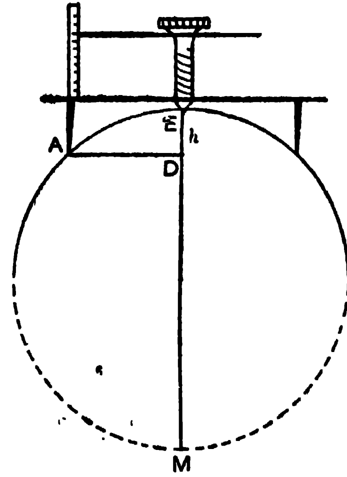
আবার টুপির সাহায্যে স্ক্রু-দণ্ডটিকে ঘুরাইয়া উপরে উঠাও এবং যে কাচ-ফলকটির বেধ মাপিতে হইবে তাহাকে Base Plate-এর উপর স্থাপন কর। এখন স্ক্রু-দণ্ডটিকে আস্তে আস্তে ঘুরাইয়া পূর্ববর্ণিত পদ্ধতিতে এই কাচ-ফলকটির পৃষ্ঠ স্পর্শ করাও এবং পূর্বের ন্যায় বৃত্তাকার ও রৈখিক স্কেলের পাঠ লও। মনে কর, এক্ষেত্রে রৈখিক স্কেলের পাঠ 2 মি. মি. এবং বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ 12 ঘর। সুতরাং মোট পাঠ $= 2$ মি. মি. $+ 12 \times \frac{1}{100}$ মি. মি. $= 2\cdot 12$ মি. মি.। ইহাকে আমরা বলিব দ্বিতীয় পৃষ্ঠের পাঠ।

সুতরাং **কাচ-ফলকটির বেধ = দ্বিতীয় পৃষ্ঠের পাঠ − প্রথম পৃষ্ঠের পাঠ**

$= 2\cdot 12$ মি. মি. $- \cdot 1$ মি. মি. $= 2\cdot 02$ মি. মি.।

এইভাবে কাচ-ফলকটির বিভিন্ন স্থানের বেধ মাপিয়া উহাদের গড় লইতে হইবে। এই গড় নির্দেশ করে ফলকটির সঠিক বেধ।

বক্রতা-ব্যাসার্ধ নির্ণয় (Measurement of Radius of curvature)—উপরে বর্ণিত স্ফেরোমিটার যন্ত্রের সাহায্যে একটি উত্তল বা অবতল পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ (Radius of curvature) নির্ণয় করা যায়। পূর্বের ন্যায় স্ফেরোমিটার যন্ত্রটি সমতল কাচপৃষ্ঠের উপর রাখিয়া উহার কেন্দ্রস্থ স্ক্রু-দণ্ডটি ঐ কাচপৃষ্ঠ স্পর্শ করাও। এই অবস্থায় বৃত্তাকার ও রৈখিক স্কেলের পাঠ লও। মনে কর, বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ 10 ঘর এবং রৈখিক স্কেলের পাঠ শূন্য (zero)। সুতরাং যন্ত্রের প্রথম পাঠ $= 0 + 10 \times \frac{1}{100}$ $= \cdot 1$ মি. মি.।



চিত্র 2H

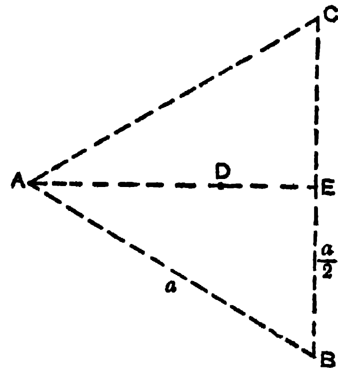
এবার যে বক্রপৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ মাপিতে হইবে তাহা ঐ সমতল কাচপৃষ্ঠের উপর স্থাপন কর। অতঃপর স্ফেরোমিটারটি ঐ বক্রপৃষ্ঠের উপর বসাইয়া উহার স্ক্রু-দণ্ডটি ঐ পৃষ্ঠ স্পর্শ করাও। এখন বৃত্তাকার ও রৈখিক স্কেলের পাঠ লও। ইহাই হইল যন্ত্রের দ্বিতীয় পাঠ।

2H চিত্রে স্ফেরোমিটারকে একটি উত্তল দর্পণ পৃষ্ঠে স্থাপিত, দেখানো হইয়াছে। এই অবস্থায় মনে কর, বৃত্তাকার স্কেলের পাঠ 60 ঘর এবং বৃত্তাকার স্কেলটি রৈখিক স্কেলের 2 ও 3 মি. মি. দাগের মধ্যে আছে। কাজেই যন্ত্রের দ্বিতীয় পাঠ $= 2$ মি.মি. $+ 60 \times \frac{1}{100}$ মি.মি. $= 2 \cdot 6$ মি. মি.। সুতরাং দ্বিতীয় ও প্রথম পাঠের পার্থক্য, মনে কর, h.

সুতরাং $h = 2 \cdot 6$ মি. মি.$-\cdot 1$ মি. মি.

$= 2 \cdot 5$ মি. মি. $= \cdot 25$ সে. মি.।

এখন যন্ত্রের পায়া তিনটি যে সমবাহু ত্রিভুজ ABC গঠন করে (2I চিত্র দেখ) তাহার AB, BC এবং CA বাহু তিনটির দৈর্ঘ্যের গড় লও। মনে কর, এই বাহু তিনটির গড় দৈর্ঘ্য $a = 5$ সে. মি.। এবার নিম্নলিখিত সমীকরণ হইতে বক্রপৃষ্ঠটির ব্যাসার্ধ R বাহির কর :



চিত্র 2I

$$R = \frac{a^2}{6h} + \frac{h}{2}$$

এক্ষেত্রে $R = \frac{5^2}{6 \times \cdot 25} + \frac{\cdot 25}{2} = 16\cdot 78$ সে. মি.।

দর্পণটি উত্তল না হইয়া অবতল হইলেও অনুরূপ পদ্ধতিতে উহার ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা যাইবে।

2·7. ক্ষেত্রফলের মাপ (Measurement of area)ঃ অনেক সময় দেখা যায়, কোন তলের ক্ষেত্রফল বাহির করিতে হইলে দুইটি নির্দিষ্ট দিকের দৈর্ঘ্য মাপা প্রয়োজন। যেমন, আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল মাপিতে হইলে উহার দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থ মাপিতে হয়। এক্ষেত্রে দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থ উভয়ই দৈর্ঘ্যের এককে প্রকাশ করা হয়। আবার একটি ত্রিভুজের ক্ষেত্রফল বাহির করিতে হইলে উহার ভূমি (Base) ও উচ্চতা (Altitude) উভয়ের দৈর্ঘ্য মাপিতে হয়। এই কারণে আমরা বলিয়া থাকি, **ক্ষেত্রফল দৈর্ঘ্যে দুইমাত্রা-বিশিষ্ট রাশি** (Two dimensions in length) এবং উহা বর্গ-সেন্টিমিটার (Sq. cm.), বর্গ ইঞ্চি (Sq. inch) ইত্যাদিতে প্রকাশ করা হইয়া থাকে।

2·8. সুষম আকৃতি-বিশিষ্ট (Regular shape) তলের ক্ষেত্রফলঃ সাধারণতঃ কোন সুষম আকৃতিবিশিষ্ট তলের ক্ষেত্রফল সাঙ্কেতিক সূত্র অনুসারে নির্ণয় করা সম্ভব হয়। যথা—

আয়তক্ষেত্রের (Rectangle) ক্ষেত্রফল = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ

ত্রিভুজের (Triangle) " $= \frac{1}{2} \times$ ভূমি (Base) × উচ্চতা (Altitude)

বৃত্তের (Circle) " $= \pi \times$ (ব্যাসার্ধ $)^2 = \pi r^2$

গোলক (Sphere) পৃষ্ঠের " $= 4\pi \times$ (ব্যাসার্ধ $)^2 = 4\pi r^2$

চোঙ (Cylinder) " " $= 2\pi \times$ ব্যাসার্ধ × দৈর্ঘ্য $= 2\pi rl$

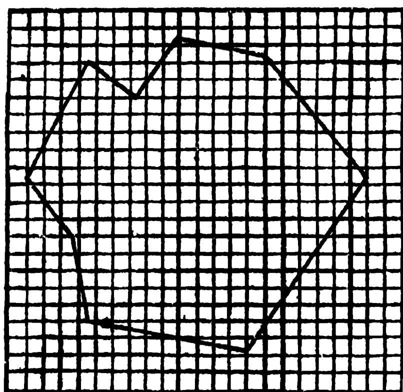
(এই সূত্রগুলিতে $\pi = \frac{22}{7} = 3\cdot 14$)

উপরোক্ত সূত্রগুলি হইতে ইহা সুস্পষ্টরূপে বুঝা যায় যে একটি তলের ক্ষেত্রফল বাহির করিতে গেলে দৈর্ঘ্য অনুরূপ রাশি মাপিবার প্রয়োজন হয়। সুতরাং ক্ষেত্রফল মাপিবার জন্য সুবিধা অনুযায়ী সাধারণ স্কেল, ভার্নিয়ার স্কেল, স্ক্রু-গেজ, ক্যালিপার্স ইত্যাদি যন্ত্র ব্যবহার করা হয়।

যেমন, ক্যালিপার্স যন্ত্রের সাহায্যে আমরা ছোট আকারের একটি গোলকের ব্যাস মাপিতে পারি এবং ঐ ব্যাসের অর্ধেক হইতে ব্যাসার্ধ এবং $4\pi \times$ (ব্যাসার্ধ $)^2$ সূত্র হইতে ঐ গোলকের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল নির্ণয় করিতে পারি।

2·9. অনির্দিষ্ট আকারবিশিষ্ট (Irregular shape) ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল নির্ণয়ঃ যে সমস্ত পদার্থের কোন সুষম (regular) আকার নাই তাহাদের ক্ষেত্রফল কোন সাঙ্কেতিক সূত্র দ্বারা নির্ণয় করা সম্ভব হয় না। মনে কর,

ক্ষেত্রটি সমতল, কিন্তু উহার সীমারেখা (boundary line) অসম আকৃতির। ইহার ক্ষেত্রফল নির্ণয় করিতে হইলে, একটি ছক কাগজে ঐ তলটিকে স্থাপন করিয়া উহার সীমারেখা আঁকিয়া লও (2J চিত্রে দ্রষ্টব্য)। এখন ঐ সীমারেখার অন্তর্গত ছক কাগজের ছোট ছোট ঘরগুলির সংখ্যা গণনা করিয়া লও। গণনাকালে সীমারেখার কাছে কোন ঘরের অর্ধেকের অধিক যদি সীমানার মধ্যে থাকে তাহা হইলে ঐ আংশিক ঘরটিকে একটি পূর্ণ ঘর বলিয়া ধরিয়া লইতে হইবে এবং যে ঘরগুলি অর্ধেকের কম সেগুলি বাদ দিতে হইবে। ছক কাগজের ছোট ছোট ঘরগুলির ক্ষেত্রফল সাধারণতঃ ইঞ্চি স্কেলে $\frac{1}{100}$ বর্গইঞ্চি এবং সেন্টিমিটার স্কেলে $\frac{1}{100}$ বর্গ-সেন্টিমিটারে সূচিত করা হইয়া থাকে। এখন মনে কর, উপরোক্ত ভাবে গণনা করিয়া দেখা গেল যে অঙ্কিত সীমারেখার মধ্যে ছক কাগজের 500টি ঘর অবস্থান করে তাহা হইলে ইঞ্চি স্কেল হিসাবে উহার ক্ষেত্রফল $500 \times \frac{1}{100} = 5$ বর্গইঞ্চি এবং ছক কাগজের ঘরগুলি সেন্টিমিটার স্কেলে সূচিত হইলে ক্ষেত্রটির ক্ষেত্রফল 5 বর্গ-সেন্টিমিটার হইবে।



চিত্র 2J

2·10. আয়তনের মাপ (Measurement of volume): অনেক সময় দেখা যায় কোন বস্তুর আয়তন মাপিতে হইলে তিনটি নির্দিষ্ট দিকের দৈর্ঘ্য মাপা প্রয়োজন। যেমন, একটি আয়তাকার ফলকের (Rectangular block) আয়তন মাপিতে হইলে উহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতার মাপ লইতে হয়। যেহেতু দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা এই তিনটি রাশিই দৈর্ঘ্যের এককে প্রকাশ করিতে হয়, সুতরাং **আয়তন দৈর্ঘ্যে তিনমাত্রা-বিশিষ্ট রাশি** (Three dimensions in length) এবং উহা ঘন-সেন্টিমিটার, ঘন-ইঞ্চি ইত্যাদিতে প্রকাশ করিতে হয়।

2·11. সুষম আকৃতি-বিশিষ্ট বস্তুর আয়তন নির্ণয় (Measurement of Volume of Bodies of Regular shape): কোন সুষম আকৃতির বস্তুর আয়তন সাঙ্কেতিক সূত্রের সাহায্যে অতি সহজে নির্ণয় করা যায়। নিম্নে এইরূপ কয়েকটি বস্তুর আয়তনের সূত্র দেওয়া হইল—

আয়তাকার ফলকের (Rectangular Block) আয়তন = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × উচ্চতা

ঘনকের (Cube) আয়তন = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × উচ্চতা = (দৈর্ঘ্য)^3

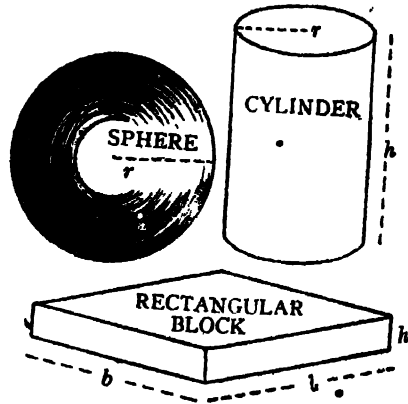
(এক্ষেত্রে, দৈর্ঘ্য = প্রস্থ = উচ্চতা)

গোলকের (Sphere) আয়তন = $\frac{4}{3}\pi$ × (ব্যাসার্ধ)^3 = $\frac{4}{3}\pi r^3$ [r = ব্যাসার্ধ]

গোলমুখ চোঙের আয়তন = π × (ব্যাসার্ধ)^2 × দৈর্ঘ্য = $\pi \times r^2 \times l$

[r = ব্যাসার্ধ ; l = চোঙের দৈর্ঘ্য]

2K চিত্রে কয়েকটি সুষম আকারের বস্তুর ছবি দেখানো হইয়াছে। উহাদের আয়তন বাহির করিতে গেলে ক্যালিপার্স, স্ক্রু-গেজ ইত্যাদি যন্ত্র দিয়া উহাদের দৈর্ঘ্য, ব্যাস বা ব্যাসার্ধ মাপিতে হইবে এবং ঐ মাপগুলি উপরোক্ত সূত্রে ব্যবহার করিতে হইবে।



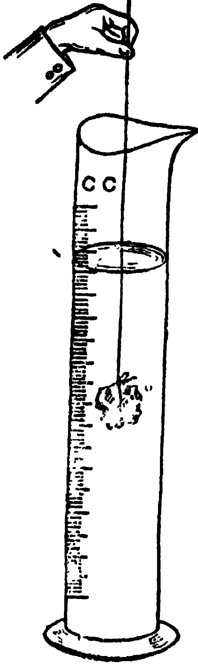
চিত্র 2K

2·12. অসম আকৃতি-বিশিষ্ট বস্তুর আয়তন নির্ণয় (Measurement of Volume of Bodies of Irregular shape) : তরলের এবং অসম আকৃতির কঠিন বস্তুর আয়তন **মাপক-চোঙের** (Measuring Cylinder) সাহায্যে অতি সহজে নির্ণয় করা যায়। 2L চিত্রে একটি মাপক-চোঙ দেখানো হইয়াছে। এই চোঙ সাধারণতঃ কাচের তৈরী এবং উহার গা ঘন-সেন্টিমিটার (c.c.) কিংবা উহার ভগ্নাংশে অংশাঙ্কিত (Graduated) থাকে। এই চোঙ নানা আয়তনের থাকে, যেমন, 100 সি.সি., 250 সি.সি., 500 সি.সি., 1000 সি.সি., ইত্যাদি।

মনে কর, কোন নির্দিষ্ট ভরের তরলের আয়তন মাপিতে হইবে। ঐ তরলকে একটি মাপক-চোঙে ঢালিয়া লও এবং তরলের উপরের তলের সমরেখায় চোখ রাখিয়া উহা চোঙের কোন্ দাগ পর্যন্ত পৌঁছাইয়াছে তাহা পাঠ কর। তরলের উপর-তল চোঙের যে দাগে আছে তাহাই হইল উহার আয়তনের পরিমাপ।

আবার মনে কর, একটি অসম আকৃতির কঠিন বস্তুর আয়তন মাপিতে হইবে। বস্তুটি অসম আকৃতির বলিয়া কোন সাঙ্কেতিক সূত্রের সাহায্যে ইহার আয়তন নির্ণয় করা যায় না। এক্ষেত্রে মাপক-চোঙের সাহায্যে আমরা আয়তন বাহির করিতে পারি। প্রথমে

একটি মাপক-চোঙের মধ্যে এমন একটি তরল পদার্থ লও যাহা ঐ কঠিন বস্তু অপেক্ষা হাল্কা এবং যাহাতে ডুবাইলে বস্তুটি গলিয়া যাইবে না। চোঙের মধ্যের এই তরলের উপর-তলের অবস্থান পাঠ কর। এবার পরীক্ষাধীন কঠিন বস্তুটিকে একটি সূক্ষ্ম সুতা দিয়া বাঁধিয়া চোঙের তরলে সম্পূর্ণরূপে ডুবাইয়া দাও। এই অবস্থায় লক্ষ্য কর, তরলের উপর-তল চোঙের কোন্ দাগে পৌঁছাইয়াছে। এই দুই পাঠের পার্থক্য হইতে কঠিন বস্তুটির আয়তন পাওয়া যাইবে।



চিত্র 2L

(উপরোক্ত পদ্ধতি ছাড়া আর্কিমিদিস-এর সূত্রের সাহায্যে কঠিন ও তরল বস্তুর আয়তন নির্ণয় করা যায়। এই সম্বন্ধে উদস্থিতি-বিদ্যায় (Hydrostatics) বিশদভাবে আলোচনা করা হইয়াছে।)

সারাংশ

মিটার স্কেলের সাহায্যে একটি বস্তুর দৈর্ঘ্য মোটামুটিভাবে মাপা যায়। যে-সকল বস্তু ছোট আকৃতি-বিশিষ্ট তাহাদের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ, বেধ, ব্যাস ইত্যাদি ভার্নিয়ার স্কেল, স্লাইড ক্যালিপার্স, স্ক্রু-গেজ, স্ফেরোমিটার প্রভৃতি যন্ত্রের সাহায্যে নির্ণয় করিতে হয়।

সুষম আকৃতি-বিশিষ্ট বস্তুগুলির ক্ষেত্রফল ও আয়তন সাঙ্কেতিক সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা হয়।

অসম আকৃতির বস্তুর আয়তন মাপক-চোঙের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

প্রশ্নমালা

1. ছবিসহ একটি মিটার স্কেলের বর্ণনা কর। [Describe with a suitable sketch a Metre scale.]

2. ভার্নিয়ার স্কেল কাহাকে বলে এবং উহার কার্য কি ? ভার্নিয়ার অঙ্ক বলিতে কি বোঝ ? কি প্রকারে সাধারণ ভার্নিয়ার যন্ত্রের সাহায্যে একটুকরা ধাতব দণ্ডের দৈর্ঘ্য নির্ণয় করিতে পারা যায় তাহা বুঝাইয়া দাও। [What do you mean by Vernier scale and what is its function ? What do you mean by Vernier constant ? Explain how you would measure the length of a piece of metallic rod with the help of a common Vernier scale.]

3. ভার্নিয়ার স্কেলযুক্ত একটি যন্ত্রের বর্ণনা কর এবং কি প্রকারে উহার সাহায্যে বর্তুলের ব্যাসার্ধ মাপিতে পারা যায় তাহা সহজভাবে বুঝাইয়া দাও। [Describe an instrument fitted with Vernier scale and explain how with the help of such an instrument the radius of a sphere may be measured.]

Hints : স্লাইড ক্যালিপার্স।

4. ছবির সাহায্যে একটি স্ক্রু-গেজ যন্ত্রের বিবরণ দাও। স্ক্রু-গেজের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক এবং শূন্য-ভ্রম কাহাকে বলে? একটুকরা তারের ব্যাসার্ধ কি প্রকারে ইহার সাহায্যে নিখুঁতভাবে মাপা সম্ভব তাহা বুঝাইয়া দাও। [Describe with suitable sketch a Screw-gauge. What do you mean by its least count and zero error ? Explain how you would measure accurately the radius of a piece of wire with the help of a Screw-gauge.]

5. একটি স্ফেরোমিটার যন্ত্রের বিবরণ এবং ব্যবহার লিখ। কি কারণে এই যন্ত্রটির নাম স্ফেরোমিটার দেওয়া হইয়াছে? [Describe and explain the use of a Spherometer. Why is this instrument named Spherometer ?]

6. স্ফেরোমিটার যন্ত্রের সাহায্যে কি প্রকারে একটি বৃত্তাকার পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ নির্ণয় করিতে পারা যায় তাহা বর্ণনা কর। [Describe how with the help of a Spherometer the radius of curvature of a spherical surface may be measured.]

7. একটি উপযুক্ত যন্ত্রের সাহায্যে কি প্রকারে একটি গোলকের পৃষ্ঠের এবং একটি চোঙের বক্রপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল নির্ণয় করা যায় তাহা বুঝাইয়া দাও। [Explain how you would measure with the help of a suitable instrument the area of the surface of a sphere and that of curved surface of the cylinder.]

8. একটি উপযুক্ত যন্ত্রের সাহায্যে কি প্রকারে একটি গোলকের এবং একটি নিরেট চোঙের আয়তন নির্ণয় করা যায় তাহা বুঝাইয়া দাও। [Explain how you would measure with the help of a suitable instrument the volume of a sphere and that of a cylinder of circular section.]

9. অসম আকৃতি-বিশিষ্ট একটি ভারী কঠিন বস্তুর আয়তন কি প্রকারে মাপক-চোঙের সাহায্যে নির্ণয় করা যায় তাহা বুঝাইয়া দাও। [Explain how with the help of a *measuring cylinder* you would determine the volume of an irregular heavy solid.]

10. কিছু পরিমাণ তরলের আয়তন কি প্রকারে সহজভাবে নির্ণয় করা যায় তাহা

বুঝাইয়া দাও। [Explain how in a simple way you would measure the volume of a quantity of a liquid.]

11. ক্যালিপার্স যন্ত্রের সাহায্যে একটি বর্তুলের ব্যাসার্ধ r যদি 10 cm. হয়, তাহা হইলে ঐ বর্তুলটির আয়তন সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে নির্ণয় কর। [If the radius r of a sphere is found with the help of calipers to be 10 cm. calculate its volume in C. G. S. and F. P. S. units.]

[*Hints* : আয়তন $= \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi \times 10^3$ c.c.

1 c.c. $= \cdot 0328 \times \cdot 0328 \times \cdot 0328$

$= 3 \cdot 529 \times 10^{-r}$ c. ft.]

[*Ans.* $4 \cdot 19 \times 10^3$ c.c. ; ·1479 c.ft.

12. স্ক্রু-গেজের সাহায্যে একটুকরা তারের ব্যাসার্ধ r মাপিয়া দেখা গেল উহা 2 m.m.। ঐ তারের প্রস্থচ্ছেদ বর্গ-সেন্টিমিটারে নির্ণয় কর। [It is found with the help of a screw-gauge the radius r of the section of a piece of wire is 2 m.m. Calculate its sectional area in sq. cm.]

[*Hints* : প্রস্থচ্ছেদ $= \pi r^2$, অঙ্ক কষিবার সময় মিলিমিটারকে সেন্টিমিটারে পরিবর্তন করিতে হইবে।]

[*Ans.* ·1257 sq. cm. (approx.)

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

ভর, ভার এবং ঘনত্ব মাপিবার পদ্ধতি

(Measurement of Mass, Weight and Density)

3·1. ভর এবং ভার বা ওজন (Mass and Weight): কোন বস্তুতে যে পরিমাণ জড় (Matter) থাকে তাহাকে বলা হয় ঐ বস্তুর ভর (Mass)। আবার ঐ বস্তু যে **বলে** (Force) পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমুখে আকর্ষিত হয় তাহাকে বলা হয় বস্তুটির ভার বা ওজন (Weight)। বস্তুর ভর এবং আকর্ষণজাত ত্বরণ (Acceleration due to gravity)—এই দুয়ের গুণফল নির্দেশ করে বস্তুর ভার বা ওজন। অর্থাৎ যদি m নির্দেশ করেকোন বস্তুর ভর এবং g নির্দেশ করে কোনস্থানে আকর্ষণজাত ত্বরণ তাহা হইলে ঐ স্থানে ঐ বস্তুর ভার বা ওজন $W = m \times g$। এক্ষেত্রে স্মরণ রাখিবে যদিও বস্তুর ভর অপরিবর্তনীয়, উহার ভার বা ওজন সকল স্থানে সমান নহে। ইহার কারণ পৃথিবীর আকর্ষণজাত ত্বরণ g বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হয়। যেমন, বিষুব বা নিরক্ষরেখা অঞ্চল অপেক্ষা মেরু অঞ্চলে g বেশী হয়। সুতরাং একই বস্তুর বিষুব বা নিরক্ষরেখা অঞ্চলের ওজন মেরু অঞ্চলের ওজন অপেক্ষা কম হইবে। আবার ঐ বস্তুকে ভূপৃষ্ঠ হইতে যত উর্দ্ধে লইয়া যাওয়া হইবে উহার ওজন তত কম হইবে। এইভাবে যদি কোন বস্তুকে পৃথিবীর অভিকর্ষের বাহিরে লইয়া যাওয়া হয় তখন উহা ওজনহীন (Weightless) হইয়া পড়িবে, কেননা g ক্রমশঃ শূন্যে (Zero) পরিণত হইবে। কিন্তু বস্তুটির ভর অপরিবর্তিত থাকিবে।

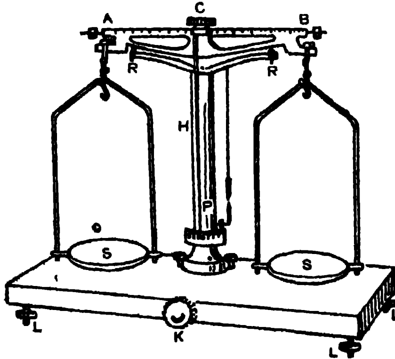
বস্তুর ভর এবং ভার বা ওজন নির্ণয় করিবার জন্য আমরা সাধারণতঃ যে সকল পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া থাকি তাহাদের সম্বন্ধে নীচে আলোচনা করা হইল।

3·2. ভর নির্ণয়-পদ্ধতি: দ্রব্য ওজন করিবার জন্য দোকানে ব্যবহৃত দাঁড়িপাল্লা তোমরা সকলেই দেখিয়াছ। ইহাকে বিজ্ঞানের ভাষায় তুলা (Balance) বলা হয়। এই তুলায় একটি সরল দণ্ডের দুই প্রান্তে একই রকমের দুইটি পাল্লা ঝুলানো থাকে। ওজন করিবার কালে দোকানী একদিকের পাল্লায় দ্রব্য রাখিয়া অপরদিকের পাল্লায় কতকগুলি প্রমাণ বাটখারা (Standard Weights) চাপায় যাহাতে তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক (Horizontal) হয়। এই অবস্থায় দ্রব্যের ওজন ঐ বাটখারার ওজনের সমান এবং যেহেতু উভয়ের অভিকর্ষজাত ত্বরণ g সমান, সুতরাং দ্রব্যের ভর বাটখারার ভরের সমান হয়। এইভাবে প্রমাণ বাটখারার সঙ্গে তুলনা করিয়া বস্তুর ভর নির্ণয়

করিতে হয়। দোকানে ব্যবহৃত দাঁড়িপাল্লা পরীক্ষাগারে (Laboratory) ব্যবহারের উপযোগী হয় না। পরীক্ষাগারে সূক্ষ্মতুলা (Sensitive Balance) ব্যবহার করিতে হয়। তবে দোকানের দাঁড়িপাল্লা ও পরীক্ষাগারের সূক্ষ্মতুলা উভয়েব কার্যপদ্ধতিতে একই নীতি অনুসৃত হয়। নিম্নে একটি সূক্ষ্মতুলা বর্ণনা করা হইল।

3·3. সূক্ষ্মতুলার বিবরণ (Description of a Sensitive Balance): 3A চিত্রে সচরাচব বিজ্ঞানেব ক্লাসে ব্যবহৃত সূক্ষ্মতুলা দেখানো হইল। এই যন্ত্রেব কার্যকবী অংশগুলি নিম্নরূপ :—

(ক) **স্তম্ভ** (Pillar)—*H* একটি খাড়া ধাতব স্তম্ভ (Vertical Pillar)। ইহা তিনটি স্ক্রু যুক্ত (Levelling Screw, *LLL*) কাঠের পাটাতনের উপর দৃঢভাবে লাগানো আছে। এই স্তম্ভটি ফাঁপা এবং ইহার ভিতব একটি নিরেট দণ্ড এমনভাবে ঢুকানো আছে যে পাটাতন-সংলগ্ন K হাতলেব সাহায্যে এই দণ্ডটি খাড়াভাবে উঠা-নামা করিতে পারে। এই দণ্ডেব উপব প্রান্তে একটি সমতল মসৃণ অ্যাগেট (Agate, একপ্রকারের প্রস্তর) অথবা ইস্পাতের পাত বসানো থাকে।



চিত্র 3A

(খ) **তুলাদণ্ড বা দাঁড়ি** (Balance Beam)—ইহা একটি হালকা ও মজবুত ধাতব দণ্ড *AB*। এই দণ্ডের মধ্যস্থলে একটি অ্যাগেট বা ইস্পাত-নির্মিত তিনশিরা ফলক নীচের দিকে মুখ করিয়া লাগানো থাকে। ফলকটির এই মুখ খুব তীক্ষ্ণ (ইহাকে knife-edge বলা হয়) এবং ইহা (ক)-এ বর্ণিত খাড়া দণ্ডের উপরিস্থিত সমতল পাতের উপর অবস্থান করে। এই ব্যবস্থার ফলে কেন্দ্রের অ্যাগেট বা ইস্পাত-ফলকটি সমগ্র তুলাদণ্ডটি ধারণ করিয়া রাখে এবং ইহাকে আলম্ব (Fulcrum) করিয়া তুলাদণ্ডটি আসনচ্যুত না হইয়া দুলিতে পারে। তুলাদণ্ডের দুই প্রান্তের নিকটে কেন্দ্র হইতে সমদূরত্বে আরও দুইটি অ্যাগেট বা ইস্পাতের তিনশিরা ফলক উপরের দিকে মুখ করিয়া লাগানো থাকে। এই তিনটি ফলকের তীক্ষ্ণ মুখ (Knif-edge) একই সমতলে অবস্থান করে। তুলাদণ্ডের দুই প্রান্তে দুইটি স্ক্রু (Adjusting Serew) লাগানো থাকে। পাল্লা খালি থাকা অবস্থায় তুলাদণ্ড অনুভূমিক না থাকিলে ঐ স্ক্রুর সাহায্যে উহাকে অনুভূমিক করা যায়।

(গ) **পাল্লা** (Scale-Pan)—*SS* দুইটি সমান ওজনের ধাতব পাল্লা। এই

পাল্লা দুইটি তুলাদণ্ডের দুই প্রান্তের অ্যাগেট বা ইস্পাতের ফলক হইতে আঙ্‌টার (Stirrup) সাহায্যে ঝুলানো থাকে।

(ঘ) **সূচক ও স্কেল** (Pointer and Scale)—তুলাদণ্ডের কেন্দ্রে C স্ক্রুর সাহায্যে একটি লম্বা সূচক (Pointer) P লাগানো আছে। এই সূচকটি H স্তম্ভের নীচে অবস্থিত সাদা স্কেলের গা ঘেঁষিয়া অবস্থান করে এবং তুলাদণ্ডটি দোলার সাথে সাথে উহা স্কেলের উপর এদিক-ওদিক চলাফেরা করিতে পারে।

(ঙ) **তুলা স্থির রাখিবার ব্যবস্থা** (Arresting arrangement)—তুলাটি যখন ব্যবহার করা হয় না অথবা তুলাটিতে যখন ওজন চাপানো হইতে থাকে তখন দোলন বন্ধ করিবার জন্য তুলাদণ্ডটিকে K হাতলের সাহায্যে RR গতিরোধক দণ্ডের উপর রাখিতে হয়।

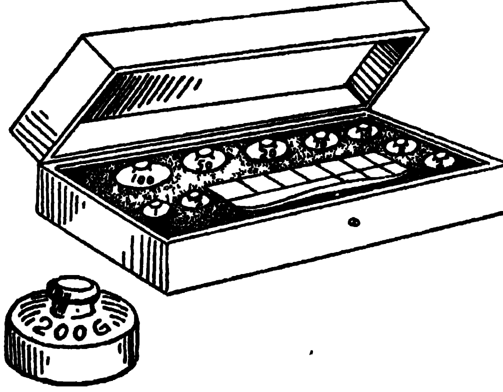
(চ) **স্তম্ভ উল্লম্ব রাখিবার ব্যবস্থা** (Arrangement for keeping Pillar Vertical)—(ক)-এ বর্ণিত স্তম্ভটি উল্লম্ব (Vertical) আছে কিনা তাহা লক্ষ্য করিবার জন্য একটি ওলন-দড়ি (Plumb-line) ঝুলানো থাকে। স্তম্ভ ও ওলন-দড়ি এক সমান্তরালে থাকিলে বুঝিতে হইবে স্তম্ভটি উল্লম্ব আছে। তাহা না থাকিলে পাটাতনের তলার LL স্ক্রু তিনটির (Levelling Screw) সাহায্যে স্তম্ভটি উল্লম্ব করিতে হইবে।

(ছ) **কাচের বাক্স** (Glass Encloser)—সমগ্র তুলাযন্ত্রটি একটি কাচের বাক্সের মধ্যে রাখা হয়। ইহার ফলে যন্ত্রটি ব্যবহার-কালীন বায়ুপ্রবাহ ব্যাঘাত সৃষ্টি করিতে পারে না। ওজন করিবার সময় এই বাক্সের সম্মুখের কাচের দরজা কিছুটা খুলিয়া দ্রব্য ও বাটখারা পাল্লায় চাপাইয়া আবার উহা বন্ধ করিয়া দিতে হয়।

(জ) **ওজনের বাক্স** (Weight Box)—তুলাযন্ত্রের সাথে একটি ওজনের বাক্স দেওয়া থাকে। এই বাক্সে সাধারণতঃ 200 গ্রাম হইতে আরম্ভ করিয়া 1 গ্রাম ও উহার ভগ্নাংশের বাটখারা থাপে থাপে সাজানো থাকে। 3B চিত্রে একটি ওজনের বাক্স দেখানো হইয়াছে। একটি চিম্‌টার (Forcep) সাহায্যে এই বাক্সের বাটখারা তুলিতে ও রাখিতে হয় যাহাতে দীর্ঘদিন বাটখারাগুলি ঠিক থাকে।

3·4. সূক্ষ্মতুলার সাহায্যে বস্তুর ভর নির্ণয় (Measurement of Mass with the help of Sensitive Balance) : মনে কর, উপরে বর্ণিত তুলাযন্ত্রের সাহায্যে কোন বস্তুর ভর নির্ণয় করিতে হইবে। প্রথমতঃ যন্ত্রের পাটাতনটি অনুভূমিক (Horizontal) এবং উহার উপরিস্থিত স্তম্ভটি উল্লম্ব (Vertical) আছে কিনা তাহা ওলন-দড়ির অবস্থান হইতে লক্ষ্য কর। যদি আবশ্যক হয়, পাটাতনের নীচের স্ক্রু তিনটি (Levelling screw) ঘুরাইয়া পাটাতন ও স্তম্ভ ঠিক অবস্থায় আন। এবার K হাতলটি ঘুরাইয়া স্তম্ভের অভ্যন্তরস্থ নিরেট দণ্ডটি উপরের

দিকে উঠাও। ইহাতে পাল্লাসহ তুলাদণ্ডটি উহার কেন্দ্রস্থ অ্যাগেট-ফলকের দুইদিকে সহজভাবে দুলিতে আরম্ভ করিবে এবং এই সঙ্গে সূচকটিও স্কেলের গা ঘেঁষিয়া চলাফেরা করিবে। এই সময় যদি দেখ সূচকটি স্কেলেব মধ্যস্থল হইতে দুইদিকে সমান-সংখ্যক ঘর



চিত্র 3B

না যায় তাহা হইলে জানিবে তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক নাই। এক্ষেত্রে তুলাদণ্ডের প্রান্তের স্ক্রু (Adjusting screw) ঘুরাইয়া সূচকটির দুইদিকের দোলন সমান করিতে হইবে যাহাতে তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক হয়। এইভাবে যন্ত্রটি নিয়ন্ত্রিত করার পর K হাতলটি বিপরীত দিকে ঘুরাইয়া উহাকে পুনরায় স্থির অবস্থায় আন। অতঃপর যে বস্তু মাপিতে হইবে উহাকে বামদিকের পাল্লায় লইয়া ডানদিকের পাল্লায় ওজনের বাক্স হইতে চিমটার সাহায্যে আন্দাজমত বাটখারা চাপাও এবং K হাতল ঘুরাইয়া তুলাদণ্ড ও সূচকের অবস্থান লক্ষ্য কর। যদি বস্তু অপেক্ষা বাটখারার ওজন অনেক কম বা বেশী হয় তাহা হইলে তুলাদণ্ড দোলার পরিবর্তে একদিকে ঝুঁকিয়া থাকিবে। এবার তুলাদণ্ডকে পূর্বের স্থির-অবস্থায় ফিরাইয়া আন এবং আবশ্যকমত বাটখারা বাড়াইয়া বা কমাইয়া পুনরায় হাতল ঘুরাইয়া তুলাদণ্ডের অবস্থান লক্ষ্য কর। এইরূপ কয়েকবার করিবার পর দেখিবে তুলাদণ্ডটি দোলা আরম্ভ করিয়াছে। এবার বাটখারার সামান্য পরিবর্তন কর যাহাতে সূচকটি স্কেলের দুইদিকে সমসংখ্যক ঘর যায়। এই অবস্থায় উভয় পাল্লার ওজন সমান হইবে অর্থাৎ বস্তুর ওজন বাটখারার সামগ্রিক ওজনের সমান হইবে এবং যেহেতু বস্তু ও বাটখারা উভয়ের ক্ষেত্রে g এর মান একই থাকিবে সুতরাং বস্তুর ভর ব্যবহৃত বাটখারার ভরের সমান হইবে।

স্মরণ রাখিবে, ঐ বস্তুকে একই তুলা ও বাটখারার সাহায্যে বিভিন্ন স্থানে (g বিভিন্ন) ওজন করিলে প্রতিবার একই ওজনের বাটখারা বস্তুর ওজনের সমতা রক্ষা

করিবে। ইহার কারণ g বেশী বা কম হইলে বস্তু-চাপানো পাল্লা ও বাটখারা-চাপানো পাল্লা উভয়ের ওজন সমানভাবে বাড়িবে বা কমিবে। এই কারণে আমরা বলিয়া থাকি **সাধারণ তুলার** (Common Balance) **সাহায্যে আমরা বস্তুর ভর** (Mass) **মাপিয়া থাকি কিন্তু বস্তুর যথাযথ ভার** (Weight) মাপিতে পারি না। কিন্তু স্প্রিং-তুলার (Spring-Balance) সাহায্যে আমরা বিভিন্ন স্থানে বস্তুর যথাযথ ভার মাপিতে সক্ষম হই। পরবর্তী (3·6) অনুচ্ছেদে স্প্রিং-তুলা সম্বন্ধে আলোচনা করা হইয়াছে।

3·5. একটি ভাল তুলার আবশ্যকীয় গুণাবলী (Requisites of a Good Balance) : একটি তুলার নিম্নলিখিত গুণাবলী থাকিলে উহা ভাল তুলা বলিয়া গণ্য হয়।

(i) **তুলা নির্ভুল** (True) **হওয়া প্রয়োজন।** অর্থাৎ তুলাপাত্র দুইটি খালি অবস্থায় থাকিলে কিংবা তুলাপাত্র দুইটিতে সমান ভর স্থাপন করিলে তুলাদণ্ডটি যদি অনুভূমিক হয় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে তুলাটি নির্ভুল।

নির্ভুল তুলার শর্ত :

(ক) তুলাদণ্ডের (Balance Beam) বাহু দুইটি (যথা, 3A চিত্রে CA এবং CB) সমান দৈর্ঘ্যের এবং সমান ওজনের হওয়া প্রয়োজন।

(খ) তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক রাখিয়া তুলার ভারকেন্দ্র (centre of gravity) এবং আলম্বের (Fulcrum) মধ্য দিয়া একটি রেখা কল্পনা করা হইলে ঐ কল্পিত রেখা তুলাদণ্ডের সহিত সমকোণ উৎপন্ন করে।

(ii) **তুলা সুবেদী** (Sensitive) **হওয়া প্রয়োজন।** অর্থাৎ তুলাযন্ত্রের তুলাপাত্র দুইটিতে স্থাপিত দুই বস্তুর ভরের অতি সামান্য ব্যবধান হইলেই তুলাদণ্ডটি কাত হইয়া যাইবে।

সুবেদী তুলার শর্ত :

(ক) তুলাদণ্ডটি লম্বা এবং হালকা হওয়া প্রয়োজন।

(খ) তুলাদণ্ডের ভারকেন্দ্র এবং আলম্ব খুব কাছাকাছি থাকা প্রয়োজন।

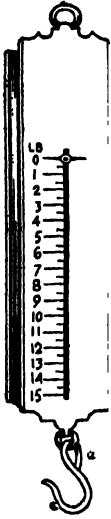
(iii) **তুলা সুপ্রতিষ্ঠ** (Stable) **হওয়া প্রয়োজন।** অর্থাৎ তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক অবস্থায় সামান্য আন্দোলিত করিলে উহার আন্দোলন অল্পক্ষণের মধ্যেই থামিয়া যাইয়া তুলাদণ্ডটি পুনরায় অনুভূমিক হইবে।

তুলা সুপ্রতিষ্ঠ হওয়ার শর্ত :

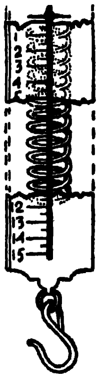
(ক) তুলাদণ্ডের ভারকেন্দ্র আলম্বের অধিক নীচে থাকা প্রয়োজন।

(খ) তুলাদণ্ডটি ভারী হওয়া প্রয়োজন। (অবশ্য তুলা সুপ্রতিষ্ঠ করিতে গেলে উপরোক্ত যে শর্ত দুইটি রক্ষা করিতে হয় তাহা আবার তুলাটি সুবেদী হওয়ার প্রতিবন্ধক।)

3·6. স্প্রিং-তুলা (Spring-Balance) ঃ 3C (i) চিত্রে একটি স্প্রিং-তুলা দেখানো হইল। স্প্রিং-তুলা মূলতঃ একটি সর্পিল ইস্পাতের স্প্রিং (3C(ii) চিত্র দ্রষ্টব্য)। ইহার উপরের প্রান্ত একটি কাঠামোর (Frame) সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আটকানো এবং ইহার নীচের প্রান্তে একটি সরু দণ্ড ঝুলানো থাকে। এই ঝুলানো দণ্ডটির নীচের প্রান্তে একটি আঙটা লাগানো এবং উপরের প্রান্তে একটি সূচক অনুভূমিকভাবে সংলগ্ন আছে। ইস্পাতের স্প্রিংটি এবং উহার সহিত সংলগ্ন দণ্ডটির অধিকাংশ বাহির হইতে সাধারণতঃ দেখা যায় না। কেননা উহা একটি ধাতব আধারের (Metallic container) মধ্যে অবস্থিত। আধারের সামনের অংশটি পাতলা ধাতব ফলকের (Metal sheet) তৈয়ারী। এই ধাতব ফলকটির মধ্যস্থল লম্বালম্বি কাটা। ইহার ফলে দণ্ড-সংলগ্ন সূচকটি ফলকটির বাহিরের পৃষ্ঠের উপর অবস্থান করে। ফলকটির কাটা অংশের দুই ধার বরাবর দুইটি স্কেল আছে। এই স্কেল দুইটি সাধারণতঃ পাউণ্ড এবং উহার ভগ্নাংশে অংশাঙ্কিত। যন্ত্রটিকে সুবিধামত ঝুলাইবার জন্য আধারের উপরিভাগে একটি গোল আঙটা সংযুক্ত থাকে। যে জিনিসটির ওজন বাহির করিতে হইবে উহাকে দণ্ড-সংলগ্ন নীচের হুকের সহিত ঝুলাইয়া দাও। স্প্রিংটি প্রসারণের ফলে সূচকটি এখন স্কেলের কোন্ অংশাঙ্কন পর্যন্ত নামিয়া আসে তাহা লক্ষ্য কর। স্কেলের এই অংশাঙ্কনের পাঠ নির্দেশ করে বস্তুর ওজন।



চিত্র 3C(*i*)


চিত্র 3C(*ii*)

উক্ত বস্তুসহ স্প্রিং-তুলাটি যদি পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে লইয়া যাওয়া হয় তাহা হইলে দেখা যায় এই স্প্রিং-তুলার পাঠ বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন রকম দাঁড়ায়। কাজেই দেখা যায় যে পৃথিবীর আকর্ষণ-বলের তারতম্য হেতু বস্তুর ওজন বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন। মনে রাখিতে হইবে এই স্প্রিং-তুলার সাহায্যে আমরা ওজন ছাড়া অন্যান্য বলও মাপিতে পারি।

3·7. সাধারণ তুলা এবং স্প্রিং-তুলার তুলনা-মূলক আলোচনা ঃ (i) সাধারণ তুলা এবং স্প্রিং-তুলার কার্যপদ্ধতি সম্পূর্ণরূপে বিভিন্ন। সাধারণ তুলায় আমরা এক পাল্লায় বস্তু এবং অপরটির পাল্লায় বাটখারা রাখিয়া বস্তুর ভর নির্ণয় করিয়া থাকি। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে বস্তুর ভার অর্থাৎ পৃথিবীর আকর্ষণ-বল হেতু বস্তুর যে ওজন তাহা নির্ণয় করিতে পারি না। ইহার

কারণ পৃথিবীর আকর্ষণ-বল যদি একস্থান অপেক্ষা অন্যস্থানে বেশী হয় তাহা হইলে বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ-বল বৃদ্ধি পাওয়ার সঙ্গে সঙ্গে পাল্লার অপরদিকে রক্ষিত বাটখারার উপরও পৃথিবীর আকর্ষণ-বল সমানভাবে বৃদ্ধি পাইয়া থাকে। আবার পৃথিবীর আকর্ষণ-বল কোনস্থানে কম হইলে উভয়েরই ওজন সমানভাবে কম হয়। সুতরাং সাধারণ তুলাদ্বারা আমরা তুলনামূলকভাবে কেবল বস্তুর ভর নির্ণয় করিয়া থাকি। কিন্তু স্প্রিং-তুলার সাহায্যে আমরা সরাসরিভাবে বস্তুর ওজন অর্থাৎ বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ-জনিত বল নির্ণয় করিতে পারি এবং পৃথিবীর এই আকর্ষণ-বল বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হওয়ায় বিভিন্ন স্থানে বস্তুর ওজনের যে তারতম্য হয় তাহাও স্প্রিং-তুলার সাহায্যে নির্ণয় করিতে পারি।

(ii) সাধারণ তুলার কার্যপদ্ধতিতে প্রথম প্রকার লিভারের নীতি অনুসৃত হয় কিন্তু স্প্রিং-তুলার কার্যকালে স্থিতিস্থাপকতা ধর্ম (elastic property) কার্যকরী হইয়া থাকে। অর্থাৎ স্প্রিং-তুলার আঙটার সহিত যত বেশী ওজন ঝুলানো হয় স্প্রীং-তুলার প্রসারণ তত অধিক হয়। আবার ওজন সরাইয়া লইলে স্প্রিং-তুলাটি সঙ্কুচিত হইয়া পুনরায় পূর্বের দৈর্ঘ্যে ফিরিয়া আসে।

3·8. ঘনত্বের পরিমাপ (Measurement of density) : পূর্বেই আলোচিত হইয়াছে যে, কোন বস্তুর প্রতি একক-আয়তনে যে পরিমাণ ভর থাকে উহাকে বলা হয় বস্তুর ঘনত্ব। সুতরাং কোন বস্তুর ভরের পরিমাণকে ঐ বস্তুর আয়তনের পরিমাণ দ্বারা ভাগ করিলে আমরা ঐ বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয় করিতে পারি। অর্থাৎ কোন বস্তুর ভর যদি ধরা হয় M এবং উহার আয়তন ধরা হয় V তাহা হইলে ঐ বস্তুটির ঘনত্ব নিম্নলিখিত সঙ্কেতে লেখা হয় :

$$\text{বস্তুর ঘনত্ব } D = \frac{M}{V}.$$

3·9. সাধারণ উপায়ে কঠিন বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয় :

(i) **অদ্রবণীয় কঠিন বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয়**—যে কঠিন বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হইবে, ধরিয়া লওয়া হইল, উহা জল অপেক্ষা ভারী এবং জলে অদ্রবণীয় (Insoluble)। এইরূপ বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হইলে প্রথমতঃ বস্তুটির ভর তুলার সাহায্যে মাপিয়া লও। মনে কর, তুলার সাহায্যে মাপিয়া দেখা গেল যে, বস্তুটির ভর M গ্রাম (gm.)। অতঃপর দ্বিতীয় পরিচ্ছেদের 2·12 অনুচ্ছেদে মাপক-চোঙের সাহায্যে কঠিন বস্তুর আয়তন মাপিবার যে পদ্ধতি বর্ণিত হইয়াছে সেই নিয়ম অনুযায়ী বস্তুটির আয়তন বাহির করিয়া লও। মনে কর, বস্তুটির আয়তন V ঘন সেন্টিমিটার (c.c.)। সুতরাং বস্তুর ঘনত্ব $D = \frac{M}{V}$ gm./c.c. (গ্রাম প্রতি ঘন-সেন্টিমিটার)।

(ii) **দ্রবণীয় কঠিন বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয়**—কঠিন বস্তুটি যদি জলে দ্রবণীয় (soluble) হয় তাহা হইলে উহার আয়তন মাপিবার সময় এমন একটি তরল মাপক-চোঙের মধ্যে লইতে হইবে যাহাতে বস্তুটি ডুবাইলে গলিয়া যায় না। যেমন, মিছরি কিংবা ফটকিরির আয়তন মাপিতে গেলে মাপক-চোঙে জলের পরিবর্তে কেরোসিন তৈল লওয়া হয়। অতঃপর মাপক-চোঙের সাহায্যে আয়তন এবং তুলার সাহায্যে ভর নির্ণয় করিয়া ঐ বস্তুর ঘনত্ব বাহির করা যায়।

(iii) **সুষম আকৃতির বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয়**—যদি কঠিন বস্তুটি সুষম আকৃতির হয় তাহা হইলে উহার ঘনত্ব নির্ণয় করিতে গেলে তুলার সাহায্যে উহার ভর এবং (2·11) অনুচ্ছেদে বর্ণিত সাঙ্কেতিক সূত্রের সাহায্যে উহার আয়তন নির্ণয় করিতে হইবে। মনে কর, একটি বর্তুলাকার বস্তুর ঘনত্ব মাপিতে হইবে। প্রথমে তুলার সাহায্যে ঐ বস্তুর ভর মাপিয়া লও। অতঃপর একটি ক্যালিপার্স যন্ত্রের সাহায্যে উহার ব্যাস মাপ। এই ব্যাসের অর্ধেক হইল ব্যাসার্ধ। এখন যদি বর্তুলের ভর M গ্রাম (gm.) এবং ব্যাসার্ধ R সে. মি. (c.m.) হয় তাহা হইলে,

উহার আয়তন $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ ঘন-সেন্টিমিটার (c.c.),

এবং ঘনত্ব $D = \frac{M}{V}$ গ্রাম প্রতি ঘন-সেন্টিমিটার (gm./c.c.)।

3·10. তরল পদার্থের ঘনত্ব নির্ণয়ঃ কঠিন পদার্থের ন্যায় তরলের ক্ষেত্রেও ভর ও আয়তনের পরিমাপ হইতে ঘনত্ব নির্ণয় করা যায়।

আনুমানিক 100 সি. সি. আয়তনের একটি কাচের বীকার লও। উহাকে পরিষ্কার এবং শুষ্ক করিয়া তুলার সাহায্যে ওজন কর। মনে কর, বীকারের ওজন W_1 গ্রাম (gm.); অতঃপর পরীক্ষাধীন তরলকে একটি 50 সি.সি. বিউরেটের (Burette) V সি.সি. (c.c.) দাগ পর্যন্ত ভর্তি কর। এখন বিউরেটের স্টপ-কক (Stop-cock) ঘুরাইয়া উহার অভ্যন্তরস্থ সমগ্র তরল পূর্বের কাচের বীকারের মধ্যে সরাইয়া লও এবং মনে কর,

তরলসহ বীকারের ওজন W_2 গ্রাম (gm.)।

কাজেই এক্ষেত্রে তরলের ভর = তরলসহ বীকারের ওজন − বীকারের ওজন

$$= W_2 - W_1 \text{ গ্রাম (gm.)}$$

সুতরাং, তরলের ঘনত্ব $D = \frac{W_2 - W_1}{V}$ গ্রাম প্রতি ঘন-সেন্টিমিটার (gm./c.c.)।

উপরোক্ত পদ্ধতিগুলি ছাড়া তরল ও কঠিন পদার্থের ঘনত্ব আর্কিমিডিস-এর সূত্রের সাহায্যে নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যায়। এই সম্বন্ধে উদস্থিতি-বিদ্যায় বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

সারাংশ

তুলার সাহায্যে বস্তুর ভর মাপা হয়।

সূক্ষ্মতুলার বৈশিষ্ট্য : তুলা (1) নির্ভুল, (2) সুবেদী এবং (3) সুপ্রতিষ্ঠ হইবে।

স্প্রিঙ-তুলার সাহায্যে বস্তুর ওজন বা ভার মাপা হয়। কঠিন এবং তরল পদার্থের ঘনত্ব নির্ণয় : তুলার সাহায্যে বস্তুর ভর এবং মাপক-চোঙের সাহায্যে উহার আয়তন মাপিয়া মোটামুটিভাবে ঘনত্ব নির্ণয় করা হয়।

প্রশ্নমালা

1. বস্তুর ভর এবং ভার কাহাকে বলে? পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে কি কোন নির্দিষ্ট বস্তুর ভর এবং ভার সমান থাকে? [What do you mean by mass and weight of a body ? Are these quantities same at every place on the earth ?]

2. একটি সূক্ষ্মতুলার বর্ণনা কর। একটি ভালো তুলার আবশ্যকীয় গুণাবলী সংক্ষেপে লিখ। [Describe an accurate common balance. Mention in short the requisites of a good balance]

3. একটি তুলার সাহায্যে কি প্রকারে বস্তুর ভর মাপা হয় তাহা সবিশেষ বর্ণনা কর। [Describe in details how the mass of a body may be measured with the help of a common balance.]

4. ছবিসহ একটি স্প্রিং-তুলার বর্ণনা কর এবং উহার কার্যপদ্ধতি বুঝাইয়া দাও। [Describe with a suitable sketch a spring-balance and explain its mode of working.]

5. কোথায় একটি পদার্থের ওজন বেশী হইবে, মেরু না নিরক্ষরেখায়? কেন বেশী হইবে? কোন্ যন্ত্রের সাহায্যে এই পার্থক্য সাধারণভাবে নির্ণয় করা সম্ভব? [In which of the two places, pole and equator, will a body weigh more ? Why will the body weigh more there ? With what instrument may this difference in weights be ascertained ?]

6. একটি সাধারণ তুলার সাহায্যে আমরা দুইটি পদার্থের ভর তুলনা করি, কিন্তু একটি স্প্রিং-তুলার সাহায্যে আমরা পদার্থের ওজন বাহির করি—এই উক্তিটি সহজভাবে বুঝাইয়া দাও। [Explain in a simple way the statement that with the help of a common balance we compare the masses but with a spring-balance we measure the weight of a body.]

7. স্প্রিং-তুলা এবং সাধারণ তুলার কার্যপদ্ধতির পার্থক্য কি? [What

are the differences in the working principles of a common balance and that of a spring-balance ?]

8. সমুদ্রতটে, পৃথিবীর পৃষ্ঠে এবং পর্বতশৃঙ্গের উপর কি প্রকারে একটি বস্তুর ভর এবং ভারের পরিবর্তন ঘটে তাহা সহজভাবে বুঝাইয়া দাও। [Explain in a simple way how the mass and weight of a body will change at the sea-level, at the surface of the earth and on the top of a mountain.]

9. সহজ উপায়ে কি প্রকারে আমরা জল অপেক্ষা ভারী এবং জলে অদ্রবণীয় একটি কঠিন বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয় করিতে পারি—তাহা বর্ণনা কর। [Describe how in a simple way we may measure the density of a solid insoluble in water and heavier than water.]

10. সহজ উপায়ে কি প্রকারে আমরা তরলের ঘনত্ব নির্ণয় করিতে পারি—তাহা বর্ণনা কর। [Describe how in a simple way we may measure the density of a liquid.]

11. একটি শূন্য বীকারের ওজন 50 gm. ; উহার মধ্যে 30 c.c. তরল লইলে তরল সহ বীকারের ওজন হইল 74 gm. ; সি. জি. এস্-এ তরলের ঘনত্ব নির্ণয় কর। [The weight of an empty beaker is 50 gms. When 30 c.c. of a liquid is taken in the beaker the weight of the beaker with the liquid is found to be 74 gms. Calculate the density of liquid in C. G. S.]

[*Hints* : 3·8 অনুচ্ছেদ দেখ।] *Ans.* : ·8 gm./c.c.]

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

সময় মাপিবার পদ্ধতি

(Measurement of time)

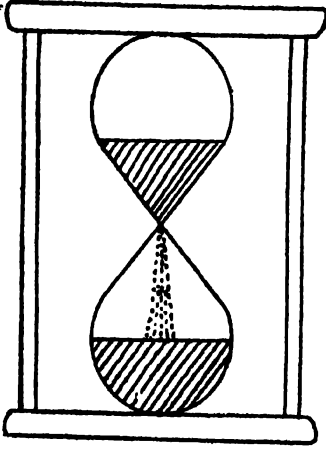
4·1. সময়ের পরিমাপ: আজকাল আমরা সকলেই প্রায় ঘড়ির সাহায্যে সময়ের পরিমাপ করিয়া থাকি। কিন্তু প্রাচীনকালে সময় মাপিবার জন্য যখন ঘড়ি ইত্যাদির আদৌ প্রচলন ছিল না তখনও মানুষ তাহার সহজ বুদ্ধি হইতে সময় মাপিবার বিভিন্ন কৌশল উদ্ভাবন করিয়াছিল। লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে, অতীতকালে সময় মাপিবার যে মূলনীতি ধরা হইয়াছিল বর্তমান যুগেও সময়ের পরিমাপের জন্য সেই একই নীতি অনুসৃত হইতেছে। এই নীতি হইল—**যদি নির্দিষ্ট সময় অন্তর কোন ঘটনার ঠিক ঠিক পুনরাবৃত্তি হয় তাহা হইলে ঐ ঘটনার পরিপ্রেক্ষিতে সময়ের পরিমাপ নির্ণয় করা সম্ভব।** যেমন, পৃথিবী আপন অক্ষের চতুর্দিকে অনবরত ঘুরিতেছে এবং নির্দিষ্ট সময় অন্তর উহা একবার পূর্ণ ঘূর্ণন সমাপ্ত করিতেছে। কাজেই পৃথিবীর এই ঘূর্ণনের পরিপ্রেক্ষিতে আমরা সময়ের পরিমাপ করিয়া থাকি এবং পৃথিবীর এই একবার ঘূর্ণনের সময়কে আমরা **একদিন** নামে অভিহিত করি। এই **একদিন** সময়কে আবার বিভিন্ন অংশে বিভক্ত করিয়া ঘণ্টা, মিনিট, সেকেণ্ড ইত্যাদি কল্পনা করিয়া থাকি।

সুদূর পল্লীগ্রামে যেখানে ঘড়ি ইত্যাদির আদৌ প্রচলন ছিল না সেখানেও মানুষ রাত্রিকালে প্রহরে প্রহরে পাখির ডাক শুনিয়া কত সময় রাত্রি অতিবাহিত হইয়াছে তাহা বলিয়া দিতে পারিত।

অতীতের সময় মাপিবার বিভিন্ন পদ্ধতিগুলি যদিও অমার্জিত এবং নিখুঁত নহে তথাপি সময় মাপিবার যন্ত্রের ধারাবাহিক ক্রমোন্নতির বিবরণ হিসাবে নিম্নে দুই-একটি যন্ত্রের বর্ণনা করা হইল।

4·2. বালি-ঘড়ি (Sand-clock or Hour glass): 4A চিত্রে একটি বালি-ঘড়ি দেখানো হইল। চিত্র-দৃষ্টে ইহা সুস্পষ্ট যে, এই যন্ত্রটিতে সমান আকারের দুইটি কাচের ফাঁপা বর্তুল একটি সূক্ষ্ম নলের সাহায্যে পরস্পর সংযুক্ত এবং ঐ ব্যবস্থাপনটি একটি কাঠামোর (Frame) মধ্যে খাড়াভাবে বসানো আছে। উপরের বর্তুলটির মধ্যে বালি ভর্তি থাকে এবং এই বালি আস্তে আস্তে সরু নল বাহিয়া নীচের বর্তুলটির

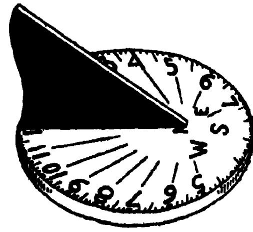
মধ্যে পড়িতে থাকে। যখন উপরের বর্তুলটির সমস্ত বালি নীচের বর্তুলে সংগৃহীত হয় তখন যন্ত্রটিকে উলটাইয়া দিলে নীচের বর্তুলটি বালিসহ উপরে এবং উপরের বর্তুলটি খালি অবস্থায় নীচে আসে। সুতরাং পূর্বের নিয়মে আবার বালি-পড়া কার্য চলিতে থাকে। উপর হইতে নীচের বর্তুলে সমগ্র বালি সংগৃহীত হইতে যে সময় অতিবাহিত হয় উহাকে সময়ের একক ধরিয়া লইলে একদিনে যতবার বর্তুলটিকে উলটানো হয় তাহার সংখ্যা দ্বারা একটি সম্পূর্ণ দিবসকে আমরা ঘণ্টা ইত্যাদির ন্যায় কতকগুলি সূক্ষ্ম অংশে ভাগ করিতে পারি।



চিত্র 4A

সপ্তদশ শতাব্দীতে চার্চে এই বালি-পড়ার পরিপ্রেক্ষিতে সময় নির্দেশ করা হইত।

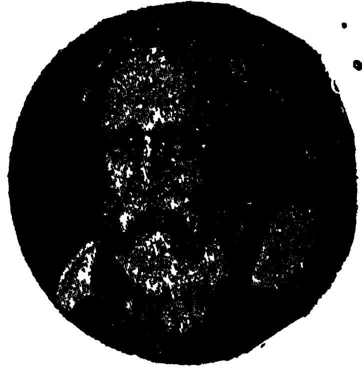
4·3. সূর্য-ঘড়ি (Sun-dial)ঃ পূর্ববর্ণিত বালি-ঘড়ির বহুপূর্বে সূর্য-ঘড়ির প্রচলন ছিল। তবে সময় মাপিবার এই যন্ত্রটি শুধু দিবালোকে কার্যকরী হয়; রাত্রে কিংবা মেঘলা দিনে এই সূর্য-ঘড়ির সাহায্যে সময় মাপা যায় না। 4B চিত্রে একটি সূর্য-ঘড়ির নমুনা দেখানো হইল। এই যন্ত্রটিতে একটি গোল চাকতি অনুভূমিকভাবে বসানো থাকে এবং ঐ চাকতিটির পরিধি ব্যাপিয়া সমান অংশে অঙ্কিত একটি বৃত্তাকার স্কেল সময় নির্দেশ করিবার জন্য আঁকা থাকে। একটি অস্বচ্ছ (opaque) ফলক ঐ চাকতিটির উপর ব্যাসার্ধ বরাবর খাড়াভাবে অবস্থিত আছে। সূর্যের আলো ঐ অস্বচ্ছ বস্তুটির উপরে পড়িলে অস্বচ্ছ বস্তুটির ছায়া চাকতিটির কোন না কোন অংশাঙ্কন স্পর্শ করে। আকাশে সূর্যের বিভিন্ন অবস্থানের সঙ্গে সঙ্গে ঐ ছায়াটি স্কেলের বিভিন্ন দাগ স্পর্শ করিয়া যায়। কাজেই এই অস্বচ্ছ বস্তুটির ছায়ার অবস্থান দেখিয়া মোটামুটি সময় নির্ণয় করা সম্ভবপর হয়।



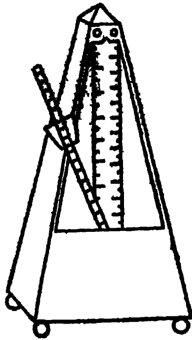
চিত্র 4B

4·4. সময় নির্ণয়ে গ্যালিলিওর দোলন-নীতিঃ আগের দিনে সময় মাপিবার জন্য যে সমস্ত পদ্ধতি উদ্ভাবিত হইয়াছিল উহার কোনটিই সন্তোষজনকভাবে ব্যবহারোপযোগী ছিল না। 1581 খ্রীস্টাব্দে প্রসিদ্ধ ইটালিয়ান বৈজ্ঞানিক গ্যালিলিও কর্তৃক পেণ্ডুলামের (Pendulum) দোলন-নীতি আবিষ্কৃত

হওয়ার পর হইতে ঘড়ি তৈয়ারীর পদ্ধতিতে এক আমূল পরিবর্তন সাধিত হইয়াছে। গ্যালিলিও একদিন লক্ষ্য করিলেন, পিসার চার্চের ছাদ হইতে যে বাতির ঝাড়টি ঝুলানো আছে তাহা বাতাস-প্রবাহে প্রতিনিয়ত এদিক-ওদিক আন্দোলিত হইতেছে; এবং যদিও এই আন্দোলনের প্রসারণ ক্রমেই কমিয়া আসিতেছে কিন্তু একপ্রান্ত হইতে অপরপ্রান্তে যাইতে উহার আন্দোলন-সময়ের কোন পরিবর্তন হইতেছে না। এই ঘটনাটি হইতে তিনি বুঝিতে পারিলেন যে, নির্দিষ্ট সময় অন্তর একই অবস্থায় কোন ঘটনার যদি ঠিক পুনরাবৃত্তি ঘটে তাহা হইলে ঐ ঘটনাটির পরিপ্রেক্ষিতে সময় নির্ণয় করা যাইতে পারে। গ্যালিলিওর আবিষ্কৃত পেণ্ডুলামের দোলন-নীতি অনুসরণ করিয়া কার্যকরীভাবে পূর্বে যে সমস্ত দোলক-ঘড়ি উদ্ভাবিত হইয়াছিল তাহার মধ্যে **মেট্রোনোমই** (Metronome) বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।


গ্যালিলিও

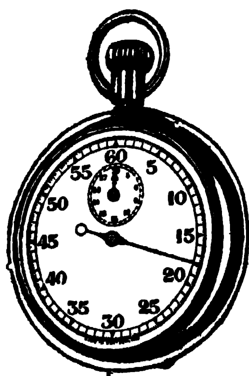
4·5. মেট্রোনোম (Metronome) : মেট্রোনোম বস্তুতঃ উল্টাভাবে বসানো একটি দোলক (inverted pendulum)। উহাকে নির্দিষ্ট সময় অন্তর আঘাত করিয়া দোলানো হয়। 4C চিত্রে একটি মেট্রোনোম দেখানো হইল। এই যন্ত্রের দোলক-দণ্ডটির উপরদিকে একটি ওজন লাগানো আছে। এই ওজনটিকে সরাইয়া সরাইয়া দোলক-দণ্ডের যে কোনস্থানে উহাকে বসানো চলে। এই ব্যবস্থা থাকার ফলে দোলকটির দোলনকাল ইচ্ছামত পরিবর্তন করা সম্ভব। যখন ওজনটিকে দণ্ড বরাবর উপরের দিকে উঠানো হয় তখন পেণ্ডুলামটির দোলনকাল বাড়িয়া যায় এবং যখন উহাকে নীচের দিকে আনা হয় পেণ্ডুলামটির দোলনকাল কমিয়া আসে। পরীক্ষাগারে ব্যবহারের সময় এই ওজনটিকে সাধারণতঃ দণ্ডের এমন স্থানে সংযুক্ত করা হয় যাহাতে দণ্ডটির একদিক হইতে আর একদিকে আসিতে উহার এক সেকেণ্ড সময় লাগে। পরীক্ষাগারে সময় মাপিবার জন্য এই মেট্রোনোম এখনও ব্যবহৃত হইতে দেখা যায়।


চিত্র 4C

4·6. দেওয়াল-ঘড়ি (Wall-clock) : বড় দেওয়াল-ঘড়িতে

পেণ্ডুলামের ব্যবহার বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়। এই পেণ্ডুলামের দোলনকাল হইতেই যথাযথভাবে সময় নির্দেশিত হয়। দোলক-ঘড়িতে পেণ্ডুলামটির কার্যকরী দৈর্ঘ্য এমনভাবে লওয়া হয় যাহাতে পেণ্ডুলামটির একপ্রান্ত হইতে অপরপ্রান্তে যাইতে এক সেকেণ্ড সময় লাগে।

4·7. পকেট-ঘড়ি, বিরাম-ঘড়ি ইত্যাদিঃ বর্তমানে বহুল প্রচারিত পকেট-ঘড়ি (Pocket-watch), হাত-ঘড়ি (Wrist-watch), বিরাম-ঘড়ি (Stop-watch) ইত্যাদিতে দোলকের পরিবর্তে স্প্রিং-সংলগ্ন একটি ব্যালান্স-চক্র (Balance-wheel) ব্যবহার করা হয়। এই চক্রটি নিজের অক্ষের উপর নির্দিষ্ট সময় অন্তর এদিক-ওদিক আবর্তিত হয় এবং ইহার দ্বারাই সময় নির্দেশিত হয়। 4D চিত্রে একটি বিরাম-ঘড়ি দেখানো হইল। পরীক্ষাগারে এবং খেলার মাঠে এই বিরাম-ঘড়ি বিশেষভাবে ব্যবহৃত হইতে দেখা যায়। এই ঘড়ির মাথায় একটি চাবি থাকে। এই চাবিটি টিপিয়া ইহাকে যখন খুসী চালানো বা বন্ধ করা যায়। এই বিরাম-ঘড়ির আর একটি সুবিধা এই যে, ইহার সাহায্যে সেকেণ্ডের ভগ্নাংশও সঠিকভাবে মাপা যায়।



চিত্র 4D

মনে কর, খেলার মাঠে দৌড়-প্রতিযোগিতায় কত সময় লাগে তাহা নির্ণয় করা দরকার। কোন প্রতিযোগী যখন দৌড়ে অংশগ্রহণ করে তখন ঐ বিরাম-ঘড়ির চাবিটি টিপিয়া দিলেই ঘড়ি চলিতে আরম্ভ করে। যখন সে নির্দিষ্টস্থানে পৌছায় তখন চাবিটি টিপিয়া দিলে ঘড়িটি বন্ধ হইয়া যায়। কাজেই দৌড়ের সময় ঘড়ির দিকে না তাকাইয়াও দৌড়ের শেষে ঘড়ির কাঁটার অবস্থান দেখিয়া কত সময় দৌড়ে অতিবাহিত হইয়াছে তাহা নির্ণয় করা হয়।

4·8. ক্রোনোমিটার (Chronometer)ঃ নিখুঁতভাবে সময় মাপিবার ঘড়িকেই বলা হয় ক্রোনোমিটার। পকেট-ঘড়ি, বিরাম-ঘড়ি ইত্যাদির ন্যায় ইহাতেও স্প্রিং-সংলগ্ন ব্যালান্স-চক্র ব্যবহার করা হইয়া থাকে। চালু অবস্থায় এই ক্রোনোমিটার ঘড়ি ঠিক সময় রাখিয়া চলে। কাজেই ইহার সাহায্যে অন্যান্য ঘড়িগুলির সময় পরীক্ষা করা হয়।

প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য যে বিজ্ঞানের উন্নতির সঙ্গে সঙ্গে সময়ের নির্ভুল পরিমাপের জন্য আজকাল ইলেকট্রনিক (Electronic) ঘড়ি উদ্ভাবিত হইয়াছে। এই ঘড়ির সাহায্যে সেকেণ্ডের অতি ক্ষুদ্রতম ভগ্নাংশও নির্ভুলভাবে মাপা সম্ভব।

সারাংশ

প্রাচীনকালের সময় মাপিবার যন্ত্র : (1) বালি-ঘড়ি, (2) সূর্য-ঘড়ি ইত্যাদি।

গ্যালিলিওর দোলন-নীতি অনুসরণ করিয়া পূর্বে যে সমস্ত দোলক-ঘড়ি উদ্ভাবিত হইয়াছিল তাহার মধ্যে মেট্রোনোম বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। এই একই নীতি অনুসরণ করিয়া বর্তমানে সময় মাপিবার যন্ত্র (1) সাধারণ ঘড়ি, (2) স্টপ-ঘড়ি, (3) ক্রোনোমিটার ইত্যাদি উদ্ভাবিত হইয়াছে।

প্রশ্নমালা

1. সময় মাপিবার মূল নীতি কি? প্রাচীনকালে ব্যবহৃত সময় মাপিবার দুই-একটি যন্ত্র সংক্ষেপে বর্ণনা কর। [What is the fundamental principle in measuring time? Describe in short a few instruments used in ancient times for measuring time.]

2. গ্যালিলিওর দোলন-নীতি কি প্রকারে কার্যকরীভাবে আধুনিক ঘড়িগুলিতে অনুসৃত হইয়াছে তাহা সংক্ষেপে বর্ণনা কর। [Describe in short how Galileo's Law of swinging of a pendulum has been made use of in making modern clocks and watches.]

3. চিত্রসহ সংক্ষেপে একটি মেট্রোনোমের বিবরণ দাও। [Describe in short with a suitable figure a metronome.]

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

কোণ মাপিবার পদ্ধতি

(Measurement of angle)

5·1. কোণের একক (Units of angle)ঃ একটি সরলরেখা আর একটি সরলরেখার উপর লম্বভাবে অবস্থান করিলে এই রেখা দুইটির মধ্যে যে কোণ উৎপন্ন হয় উহাকে বলা হয় এক **সমকোণ** (one right angle)। এই সমকোণটিকে সমান 90 ভাগে বিভক্ত করিলে উহার এক একটি ভাগকে বলা হয় **ডিগ্রী** (degree) এবং ডিগ্রীকে সমান 60 ভাগে বিভক্ত করিলে উহার এক-একটি ভাগকে বলা হয় **মিনিট** (minute) এবং মিনিটকে সমান 60 ভাগে বিভক্ত করিলে উহার এক ভাগকে বলা হয় **সেকেণ্ড** (second)। কাজেই

1 সমকোণ $= 90^\circ$ ডিগ্রী।

1° ডিগ্রী $= 60'$ মিনিট।

$1'$ মিনিট $= 60''$ সেকেণ্ড।

কোন কোন স্থানে বিজ্ঞানীরা এই সমকোণটিকে 100টি সমান ভাগে বিভক্ত করিয়া থাকেন। তখন উহার এক-একটি ভাগকে বলা হয় **গ্রেড** (grade)। সাধারণতঃ আমাদের দেশে কোণ মাপিবার সময় 'গ্রেড' একক ব্যবহার করা হয় না। কাজেই আমরা বর্তমান আলোচনায় কি প্রকারে ডিগ্রী, মিনিট ইত্যাদিতে কোণ মাপা হয় তাহাই আলোচনা করিব। কোন কোন ক্ষেত্রে কোণের পরিমাণ নির্ণয় করিতে **রেডিয়ান** (Radian) একক ব্যবহার করা হয়। কোন বৃত্তের (Circle) ব্যাসার্ধের (Radius) সমান চাপ (Arc) ঐ বৃত্তের কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে এক রেডিয়ান বলা হয়। অর্থাৎ রেডিয়ান $= \frac{\text{চাপ}}{\text{ব্যাসার্ধ}}$।

ডিগ্রী এবং রেডিয়ানের পারস্পরিক সম্পর্ক ঃ

2π রেডিয়ান $= 360^\circ$ (ডিগ্রী)

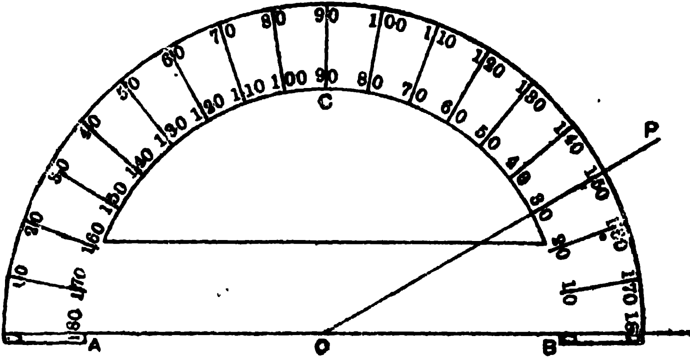
$\therefore$ 1 রেডিয়ান $= \frac{360^\circ}{2\pi} = 57{\cdot}29^\circ$ (ডিগ্রী)

$[\because \pi = \frac{22}{7} = 3{\cdot}14]$

5·2. চাঁদার সাহায্যে কোণ মাপিবার পদ্ধতি (Measurement of angle with a protractor)ঃ 5A চিত্রে একটি চাঁদা (Protractor)

দেখানো হইল। এই চাঁদা অর্ধবৃত্তাকার ধাতু, প্লাস্টিক ইত্যাদির পাত। এই অর্ধবৃত্তাকার পাতটির পরিধি ডিগ্রী এবং উহার ভগ্নাংশে অংশাঙ্কিত থাকে।

মনে কর, এই চাঁদাটির সাহায্যে চিত্রের $\angle POQ$ কোণটি মাপিতে হইবে। এক্ষেত্রে চাঁদাটিকে এমনভাবে স্থাপন কর যাহাতে চাঁদাটির কেন্দ্র ও $\angle POQ$ কোণের



চিত্র 5A

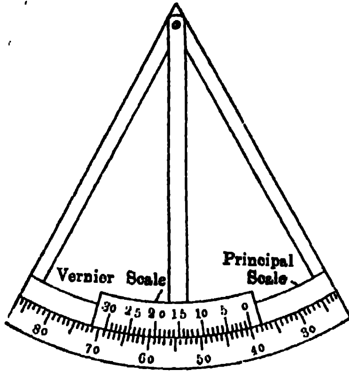
শীর্ষবিন্দু O পরস্পর মিলিয়া যায় এবং চাঁদাটির উপর অঙ্কিত শূন্য-শূন্য (zero-zero) ডিগ্রী সংযোজক রেখা (AB) কোণটির যে কোন বাহুর উপর অবস্থান করে। চিত্রে দেখা যাইতেছে যে সংযোজক AB রেখা কোণের OQ বাহুর উপর অবস্থান করিতেছে। এখন লক্ষ্য কর কোণের অপর বাহু OP চাঁদাতে অঙ্কিত কোন্ দাগ স্পর্শ করিতেছে। এই দাগের পাঠই নির্দেশ করে কোণের পরিমাণ। চিত্রে OP রেখাটি 30 দাগের উপরে অবস্থিত আছে। সুতরাং এক্ষেত্রে কোণের পরিমাণ হইল 30 ডিগ্রী।

5·3. কৌণিক ভার্নিয়ারের সাহায্যে কোণ মাপিবার পদ্ধতি (Measurement of angle by angular Verniers) : চাঁদার সাহায্যে কিরূপভাবে কোণ মাপিতে হয় তাহা বলা হইয়াছে। কিন্তু উহার সাহায্যে সাধারণতঃ তেমন নিখুঁতভাবে কোণের পরিমাণ নির্ণয় করা সম্ভব নহে।

নিখুঁতভাবে কোন বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপিবার সময় যেমন রৈখিক ভার্নিয়ার স্কেল ব্যবহার করা হয়, সেইরূপ এক্ষেত্রেও নিখুঁতভাবে কোণ মাপিবার জন্য 'কৌণিক ভার্নিয়ার' ব্যবহৃত হয়। স্পেকট্রোমিটার, সেক্সট্যান্ট ইত্যাদি যন্ত্রে কোণের সূক্ষ্ম অংশ পরিমাপের জন্য এই কৌণিক ভার্নিয়ারের সাহায্য লওয়া হয়।

5B চিত্রে একটি সাধারণ কৌণিক ভার্নিয়ারের নমুনা দেখানো হইল। এই যন্ত্রের স্কেলটি অর্ধ ডিগ্রীতে বিভক্ত এবং ভার্নিয়ার স্কেলটি সমান 30 ভাগে বিভক্ত। এই

ভার্নিয়ার স্কেলটি বৃত্তাকার মূল স্কেলের গা বাহিয়া চলাফেরা করিতে পারে। চিত্র অনুযায়ী দেখা যায় ভার্নিয়ার স্কেলের 30টি ঘর মূল স্কেলের 29টি ঘরের সমান। সুতরাং পূর্ব-বর্ণিত রৈখিক ভার্নিয়ার স্কেলের আলোচনা হিসাবে এক্ষেত্রে ভার্নিয়ার-ধ্রুবক $= (1 - \frac{২৯}{৩০}) \times \frac{1}{২}°$ (ডিগ্রী) $= \frac{1}{৬০}° = 1'$ (মিনিট)।



চিত্র 5B

কাজেই দেখা যাইতেছে, আলোচিত কৌণিক ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে $\frac{1}{৬০}°$ (ডিগ্রী) বা এক মিনিট পর্যন্ত নিখুঁতভাবে কোণ নির্ণয় করা সম্ভবপর। কিন্তু সাধারণ চাঁদার সাহায্যে আমরা এক মিনিট নির্ণয় করিতে পারি না।

সারাংশ

কোণের বিভিন্ন একক : (1) ডিগ্রী, (2) গ্রেড এবং (3) রেডিয়ান।

কোণ মাপিবার যন্ত্র : (1) চাঁদা ও (2) কৌণিক ভার্নিয়ার।

প্রশ্নমালা

1. চাঁদার সাহায্যে কি প্রকারে কোণ মাপা হয় তাহা সংক্ষেপে বর্ণনা কর। [Describe in short how an angle may be measured with the help of a protractor.]

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

কয়েকটি আবশ্যকীয় রাশির প্রাথমিক আলোচনা

প্রথম শিক্ষার্থীদের বিজ্ঞানপাঠের সুবিধার জন্য কতকগুলি রাশি, যথা—বস্তুকণার সরণ, দ্রুতি, ত্বরণ, বল, ওজন প্রভৃতি সম্বন্ধে সাধারণ পরিচিতি থাকা একান্ত প্রয়োজন। কাজেই উদস্থিতি-বিদ্যা এবং অন্যান্য পরবর্তী অধ্যায়গুলি আলোচনা করিবার পূর্বে এই আবশ্যকীয় রাশি এবং উহাদের এককগুলি সম্পর্কে নিম্নে সংক্ষেপে আলোচনা করা হইল। ইহাদের সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা এই পুস্তকের দ্বিতীয় খণ্ডে করা হইয়াছে।

6·1. সরণ (Displacement) : কোন নির্দিষ্ট সময় এবং নির্দিষ্ট দিকে কোন বস্তুকণার (particle) অবস্থানের পরিবর্তনকে বলা হয় ঐ বস্তুকণার **সরণ**।

বস্তুকণার সরণ নির্দেশ করিতে গেলে উহার মান এবং দিক্ উভয়ই উল্লেখ করিতে হয়। কাজেই ইহা একটি ভেক্টর রাশি অর্থাৎ দিক্-সংযুক্ত রাশি।

সরণের একক—সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে আমরা সরণের পরিমাণ সেন্টিমিটারে এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ফুটে প্রকাশ করিয়া থাকি।

6·2. দ্রুতি (Speed) : কোন গতিশীল বস্তুকণার পথ অতিক্রমের হারকে বলা হয় উহার **দ্রুতি**। অর্থাৎ কোন গতিশীল বস্তুকণা একক সময়ে বিনাবাধায় যে পথ অতিক্রম করিতে পারে উহাই নির্ণয় করে বস্তুকণাটির দ্রুতি।

বস্তুকণার দ্রুতি নির্ণয়কালে গতিশীল বস্তুকণাটি কোন্‌দিকে চলিতেছে তাহা বিবেচনা করা হয় না। কাজেই ইহা একটি স্কেলার রাশি অর্থাৎ দিক্‌শূন্য রাশি।

দ্রুতির একক—সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে দ্রুতির একক—এক সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড (1 cm./sec.)।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে দ্রুতির একক—এক ফুট প্রতি সেকেণ্ড (1 ft./sec.)।

6·3. বেগ (Velocity) : কোন গতিশীল বস্তুকণার সরণের হারকে বলা হয় উহার **বেগ**। অর্থাৎ আমরা বলিতে পারি, কোন গতিশীল বস্তুকণা একক সময়ে কোন নির্দিষ্টদিকে বিনাবাধায় যে পরিমাণ পথ অতিক্রম করে উহাই নির্দেশ করে ঐ বস্তুকণার বেগ। কাজেই বস্তুকণার বেগ নির্দেশ করিতে গেলে বস্তুকণার বেগের মান এবং দিক্ উভয়ই নির্দেশ করা প্রয়োজন। সুতরাং ইহা একটি ভেক্টর রাশি অর্থাৎ দিক্-সংযুক্ত রাশি।

বেগের একক—সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বেগের একক—এক সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড (1 cm./sec.), এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বেগের একক—এক ফুট প্রতি সেকেণ্ড (1 ft./sec.).

6·4. ত্বরণ (Acceleration) : কোন গতিশীল বস্তুকণার বেগের পরিবর্তনের হারকে বলা হয় ঐ বস্তুকণার **ত্বরণ।**

অর্থাৎ কোন বস্তুকণার চলার সময় একক সময়ে যে পরিমাণ বেগ বৃদ্ধি বা হ্রাস পায় উহাই নির্দেশ করে ঐ বস্তুকণার ত্বরণ। ইহা ভেক্টর রাশির পর্যায়ভুক্ত।

ত্বরণের একক—সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ত্বরণের একক ধরা হয়—এক সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড (1 cm./sec./sec.)। সংক্ষেপে ইহা লিখা হয় 1 cm./sec^2 বা এক সেন্টিমিটার প্রতি বর্গসেকেণ্ড।

এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে ত্বরণের একক ধরা হয়—এক ফুট প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড (1 ft./sec./sec.)। সংক্ষেপে ইহা লিখা হয়—1 ft./sec^2 বা এক ফুট প্রতি বর্গসেকেণ্ড।

6·5. অভিকর্ষজ ত্বরণ (Acceleration due to gravity) : পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমুখী আকর্ষণের ফলে কোন গতিশীল বস্তুর যে ত্বরণ উৎপন্ন হয় তাহাকে বলা হয় অভিকর্ষজ ত্বরণ। ইহা g অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হয়। মনে রাখিবে, কোন নির্দিষ্ট স্থানে প্রত্যেক বস্তুর ক্ষেত্রেই এই অভিকর্ষজ ত্বরণ সমান। মোটামুটি হিসাবে এই অভিকর্ষজ ত্বরণের (g) পরিমাণ ধরা হয়—

সি.জি.এস্. পদ্ধতিতে 981 cm./sec./sec. (সে.মি. প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড)

এবং এফ্.পি.এস্. পদ্ধতিতে 32 ft./sec./sec. (ফুট প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড)।

6·6. বল (Force) : যাহার প্রয়োগে কোন স্থির বস্তু গতিশীল হইতে পারে কিংবা সমবেগসম্পন্ন কোন বস্তু ত্বরণ গতিবিশিষ্ট হইতে পারে তাহাকে বলা হয় **বল।**

বল নির্দেশ করিতে গেলে উহার মান এবং দিক্ উভয়ই নির্দেশ করা প্রয়োজন। কাজেই ইহা একটি ভেক্টর রাশি।

বলের মান—কোন বস্তুর উপর বাহির হইতে বল প্রয়োগ করিলে বস্তুটির যে পরিমাণ ত্বরণ হয় সেই ত্বরণ এবং বস্তুর ভর এই দু'এর গুণফল দ্বারা ঐ বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের মান বা পরিমাণ নির্ণীত হয়।

মনে কর, কোন বস্তুর ভর $= m$, উহার উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ $= P$ এবং বস্তুটির উপর এই বল প্রযুক্ত হইলে বস্তুটির যে ত্বরণ উৎপন্ন হয় তাহার পরিমাণ $= f$.

সুতরাং এক্ষেত্রে বলের মান $P = mf$.

বলের একক—সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বলের এককের নাম **ডাইন** (Dyne)। এক গ্রাম ভরবিশিষ্ট বস্তুর উপর যে পরিমাণ বল প্রযোগ করিলে বস্তুটির ত্বরণ হয় এক সেণ্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড (1 cm./sec./sec.) তাহাকে বলা হয় এক ডাইন।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বলের এককের নাম **পাউণ্ডাল** (Poundal)।

এক পাউণ্ড ভরবিশিষ্ট বস্তুর উপর যে পরিমাণ বল প্রয়োগ করিলে বস্তুটির ত্বরণ হয় এক ফুট প্রতি সেকেণ্ড প্রতি সেকেণ্ড (1 ft./sec./sec.) তাহাকে বলা হয় এক পাউণ্ডাল।

6·7. ওজন (Weight)ঃ কোন বস্তু পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমুখে যে বলে (Force) আকর্ষিত হয় উহাই নির্দেশ করে ঐ বস্তুর ওজন। বস্তুর ভর এবং ঐ স্থানের পৃথিবীর আকর্ষণ-জনিত ত্বরণ "g" এই দু'এর গুণফল নির্দেশ করে ঐ স্থানে বস্তুর **ওজন**। কাজেই কোন বস্তুর ভর যদি m অক্ষর দ্বারা সূচিত করা হয় তাহা হইলে, **বস্তুর ওজন** **W = m × g.**

ওজনের একক—ওজনের একক বলের এককের অনুরূপ। অর্থাৎ কোন বস্তুর ওজন যদি বলা হয় 1 gm. তাহা হইলে বুঝিতে হইবে ঐ বস্তু পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে 1 gm. × g অর্থাৎ 1 × 981 dynes বলে পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে আকর্ষিত হইতেছে। আবার যদি বলা হয় কোন বস্তুর ওজন 1 lb. তাহা হইলে বুঝিতে হইবে ঐ বস্তু পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে 1 lb. × g অর্থাৎ 1 × 32 poundals বলে পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে আকর্ষিত হইতেছে। স্মরণ রাখিতে হইবে, আমরা সাধারণতঃ বস্তুর ওজন সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে গ্রাম-ওয়েটে এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে পাউণ্ড-ওয়েটে প্রকাশ করিয়া থাকি।

6·8. কার্য (Work)ঃ কোন বস্তুতে বল-প্রয়োগের ফলে উহার স্থানচ্যুতি ঘটিলে অর্থাৎ উহার সরণ (Displacement) হইলে আমরা বলিয়া থাকি কার্য করা হইয়াছে।

যখন বস্তুটির সরণ প্রযুক্ত বলের অভিমুখী হয় তখন আমরা বলিয়া থাকি বল কার্য করিয়াছে। কিন্তু বস্তুটির সরণ যদি বলের বিপরীতমুখী হয় তখন আমরা বলিয়া থাকি বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হইয়াছে।

কার্যের পরিমাণ নির্ণয় করা হয়—বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ এবং বস্তুর সরণের পরিমাণের গুণফল দ্বারা।

উদাহরণস্বরূপ, W যদি নির্দেশ করে কার্য, F যদি নির্দেশ করে প্রযুক্ত বলের পরিমাণ এবং d যদি নির্দেশ করে বস্তুর সরণের পরিমাণ তাহা হইলে $W = F \times d$.

কার্যের একক—সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের একক আর্গ (Erg)।

এক ডাইন পরিমাণের বল কোন বস্তুতে প্রযুক্ত হইলে বস্তুটি যদি প্রযুক্ত বলের অভিমুখে 1 cm. সরিয়া যায় তখন আমরা বলি ঐ প্রযুক্ত বল এক আর্গ কার্য সম্পন্ন করিয়াছে।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের একক ফুট-পাউণ্ডাল (Foot-Poundal)। এক পাউণ্ডাল বল কোন বস্তুতে প্রযুক্ত হইলে বস্তুটি যদি প্রযুক্ত বলের অভিমুখে এক ফুট সরিয়া যায় তখন আমরা বলি ঐ প্রযুক্ত বল এক ফুট-পাউণ্ডাল কার্য সম্পন্ন করিয়াছে।

6·9. শক্তি (Energy)ঃ কোন বস্তুর কার্য করার ক্ষমতাকে বলা হয় শক্তি। বস্তুটি যে পরিমাণ কার্য করে তাহাই হইল উহার শক্তির পরিমাপ। সুতরাং শক্তি এবং কার্য একই এককে প্রকাশ করা হয়।

6·10. চাপ বা চাপমাত্রা (Pressure)ঃ কোন তলের (Surface) একক ক্ষেত্রফলের (unit area) উপর যে বল প্রযুক্ত হয় তাহার পরিমাণকে বলা হয় চাপ।

চাপের একক—আমরা দেখিয়াছি, সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বলের একক ডাইন (dyne) এবং ক্ষেত্রফলের একক বর্গ-সেন্টিমিটার। সুতরাং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে চাপের একক হইতেছে এক ডাইন প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটার (1 dyne/sq. cm.); আবার এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বলের একক পাউণ্ডাল (Poundal) এবং ক্ষেত্রফলের একক বর্গফুট। সুতরাং এই পদ্ধতিতে চাপের একক এক পাউণ্ডাল প্রতি বর্গফুট (1 poundal/sq. ft.)।

6·11. ঘাত (Thrust) এবং ঘাতের এককঃ কোন নির্দিষ্ট তলের উপর সামগ্রিকভাবে যে বল প্রযুক্ত হয় উহার পরিমাণকে বলা হয় ঐ তলের উপর ঘাত। কাজেই বলের একক যেভাবে নির্দেশ করা হয় ঘাতের এককও ঐ একই ভাবে নির্দেশ করা হয়। এই হিসাবে বলের ন্যায় সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ঘাতের একক ডাইন এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঘাতের একক পাউণ্ডাল।

6·12. ঘাত এবং চাপের পারস্পরিক সম্পর্ক (Relation between thrust and pressure)ঃ মনে কর, কোন তলের ক্ষেত্রফল A, উহার উপর প্রযুক্ত মোট বলের পরিমাণ (অর্থাৎ ঘাত) R এবং উহার প্রতি একক ক্ষেত্রের উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ অর্থাৎ, চাপ P

তাহা হইলে, ঘাত এবং চাপের সংজ্ঞা হিসাবে—

$$R\text{ (ঘাত)} = P\text{ (চাপ)} \times A\text{ (ক্ষেত্রফল)}$$

অথবা, $P = \dfrac{R}{A}$।

6·13. কোন বিন্দুতে তরলের চাপ (Pressure at a point inside the liquid) : তরলের অভ্যন্তরস্থ কোন নির্দিষ্ট বিন্দুতে তরলের চাপের পরিমাণ কত তাহা নির্ণয় করিতে হইলে ঐ বিন্দুটিকে বেষ্টন করিয়া একক ক্ষেত্রফল কল্পনা করিয়া লও। এখন ঐ ক্ষেত্রফলের উপর যে বল প্রযুক্ত হয় উহার পরিমাণই নির্ণয় করে ঐ নির্দিষ্ট বিন্দুতে তরলের চাপ।

সুতরাং দেখা যাইতেছে যে, তরলের চাপ নির্দেশ করিতে গেলে পূর্বোল্লিখিত ডাইন প্রতি বর্গ-সে. মি., পাউণ্ডাল প্রতি বর্গফুট, ইত্যাদির দ্বারা প্রকাশ করিতে হয়।

এক্ষেত্রে একটি কথা স্মরণ রাখিতে হইবে যে, কঠিন বস্তুর চাপ এবং তরল বস্তুর চাপের মধ্যে কিছু তফাৎ আছে। তরলের অভ্যন্তরস্থ কোন বিন্দুতে সর্বদিকে সমভাবে তরলের চাপ প্রযুক্ত হয়। কিন্তু কঠিন বস্তুব কোন পৃষ্ঠের উপর শুধু একদিকেই চাপ প্রযুক্ত হয়। যেমন, আমরা যখন মাটির উপরে দাঁড়াই তখন মাটির যেস্থান জুড়িয়া আমাদের পায়ের পাতা দুইটি অবস্থান করে ঐ স্থানের ক্ষেত্রফলের উপর আমাদের ওজন সামগ্রিকভাবে প্রযুক্ত হয় এবং ঐ স্থানেব একক ক্ষেত্রফলের উপর যে ওজন পড়ে উহাই নির্ণয় করে ঐ স্থানের মাটির উপর নিম্নদিকে চাপ। লক্ষ্য করিতে হইবে যে, এই চাপ শুধু লম্বভাবে নিম্নদিকেই প্রযুক্ত হয়, কিন্তু পার্শ্বের দিকে কোনরূপ চাপ পরিলক্ষিত হয় না।

উদস্থিতি-বিদ্যা (Hydrostatics)

ও

গ্যাস-বিজ্ঞান (Pneumatics)

সপ্তম পরিচ্ছেদ

তরলের চাপ এবং আনুষঙ্গিক ধর্ম

7·1. সাধারণ আলোচনা : সহজ কথায় জলজাতীয় পদার্থকে আমরা তরল পদার্থ এবং বায়ুজাতীয় পদার্থকে গ্যাসীয় (Gaseous) বা বায়বীয় পদার্থ বলিয়া থাকি। তরল এবং বায়বীয় পদার্থের একটি ধর্ম হইল উহাদের সচলতা (mobility)। এই বিশেষ গুণের জন্য উভয়েরই ইংরাজীতে সাধারণ নাম দেওয়া হইয়াছে 'ফ্লুইড' (Fluid)। আমরা তরলকে বলিয়া থাকি অসংনম্য ফ্লুইড অর্থাৎ চাপবৃদ্ধিতে তরলের সংনমন বা আয়তনের হ্রাস খুবই কম পরিলক্ষিত হয়। গ্যাসীয় পদার্থকে আমরা বলিয়া থাকি সংনম্য ফ্লুইড অর্থাৎ চাপবৃদ্ধিতে গ্যাসের সংনমন বা আয়তনের হ্রাস বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়।

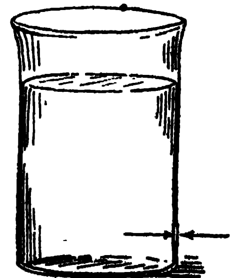
এই অসংনম্য ফ্লুইড বা তরল এবং সংনম্য ফ্লুইড বা গ্যাস উভয়ই যখন স্থির অবস্থায় থাকে তখন উহাদের কতকগুলি সাধারণ বৈশিষ্ট্য পরিলক্ষিত হয়।

স্থির অবস্থায় তরলের বৈশিষ্ট্যগুলি বিজ্ঞানের যে অংশে আলোচিত হয় তাহাকে বলা হয় **উদস্থিতি-বিদ্যা** (Hydrostatics)। আবার স্থির অবস্থায় গ্যাসের অনুরূপ বৈশিষ্ট্যগুলি বিজ্ঞানের যে অংশে আলোচিত হয় তাহাকে বলা হয় Pneumatics বা গ্যাস-বিজ্ঞান।

7·2. তরল পদার্থের চাপ (Liquid pressure) : যখন কোন তরল পদার্থকে একটি পাত্রে রাখা যায় অর্থাৎ উহা যখন স্থির অবস্থায় থাকে তখন ঐ তরল পদার্থটি পাত্রের গাত্রে এবং নীচে বল প্রয়োগ করে। **প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর তরলের এই প্রযুক্ত বলকে বলা হয় তরলের চাপ** (pressure)।

নিম্নের পরীক্ষাদ্বারা আমরা প্রমাণ করিতে পারি যে তরল পদার্থকে যে-কোন পাত্রেই রাখা হউক না কেন উহা ঐ পাত্রের গাত্রে চাপ প্রয়োগ করে।

পরীক্ষা : কোন পাত্রের গাত্রে একটি ছিদ্র করিয়া উহাতে জল ঢাল। দেখিতে পাইবে ঐ ছিদ্র দিয়া জল বাহির হইয়া আসিতেছে। এখন যদি ঐ ছিদ্রটির মুখে একটি চাকতি রাখিয়া জল-প্রবাহের বিপরীত দিকে বল প্রয়োগ করিয়া উহাকে চাপিয়া রাখা হয় তাহা হইলে জল বাহির হইয়া আসা বন্ধ হইয়া যায় (7A চিত্র দেখ)। ইহা হইতে বুঝিতে পারা যায় যে, তরলকে যে পাত্রে রাখা হয় সেই পাত্রের গাত্রে উহা বল প্রয়োগ করে।



চিত্র 7A

7·3. কোন বিন্দুতে তরলের চাপ এবং ঘাত (Pressure and thrust of a liquid at a point)ঃ যে বিন্দুতে তরলের চাপ নির্ণয় করিতে হইবে সেই বিন্দুটির চারিদিকে একটি ছোট ক্ষেত্র কল্পনা কর।

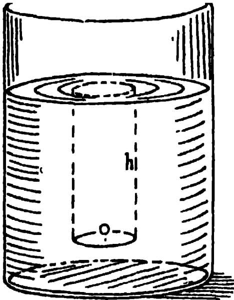
মনে কর, উহার ক্ষেত্রফল A, যদি উক্ত ক্ষেত্রের উপর তরল মোট বল প্রয়োগ করে 'F', তাহা হইলে ঐ বিন্দুতে তরলের চাপ $P = F/A$ এবং ঐ ক্ষেত্রের উপর তরলের ঘাত $= F$.

কাজেই আমরা বলিতে পারি,

কোন বিন্দুতে তরলের চাপ (Pressure) × ক্ষেত্রফল = ঐ ক্ষেত্রফলের উপর তরলের ঘাত (thrust)

অর্থাৎ $P \times A = F$.

7·4. গাণিতিক সঙ্কেতে স্থির তরল পদার্থের কোন বিন্দুতে চাপের পরিমাণ নির্ণয় (Calculation of pressure at a point inside a liquid at rest)ঃ একটি পাত্রের কতক অংশ তরল দ্বারা ভর্তি কর। তরলের অভ্যন্তরে যে-কোন একটি বিন্দু O লও (7B চিত্র দেখ)। মনে কর, ঐ বিন্দুর গভীরতা 'h'। এখন O বিন্দুতে তরলের চাপের পরিমাণ কত তাহা নির্ণয় করিতে হইলে O বিন্দুর চতুর্দিকে একটি একক ক্ষেত্রফল কল্পনা কর। এই ক্ষেত্রফলের সীমানা হইতে এমনভাবে কতকগুলি লম্ব টান, যাহাতে উহারা তরলের উপরিভাগ স্পর্শ করে। এইরূপ করিলে তরলের একটি স্তম্ভ সৃষ্ট হইবে।



চিত্র 7B

এই তরল স্তম্ভের যাহা ওজন হইবে তাহাই '0' বিন্দুতে তরলের চাপ নির্দেশ করে।

এই তরল স্তম্ভের ওজন নিম্নলিখিতভাবে নির্দেশ করা হয়—

তরল স্তম্ভের আয়তন (volume) $= h \times 1 = h$ (কারণ, তরল স্তম্ভের গোলমুখের ক্ষেত্রফল $= 1$)

সুতরাং তরল স্তম্ভের ভর (mass) = আয়তন × ঘনত্ব

$= h \times \rho$ (ρ তরলের ঘনত্ব ধরা হইল)

তরল স্তম্ভের ওজন = ভর × অভিকর্ষজাত ত্বরণ

$= h\rho g$ (অভিকর্ষজাত ত্বরণ g ধরা হইল);

সুতরাং 'O' বিন্দুতে তরলের চাপ $P = h\rho g$,

অর্থাৎ **কোন বিন্দুতে তরলের চাপ = ঐ বিন্দুর গভীরতা × তরলের ঘনত্ব × অভিকর্ষজাত ত্বরণ**

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে	**এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে**
h মাপা হয় সে. মি.তে (cm.),	h মাপা হয় ফুটে (ft.),
ρ প্রকাশ করা হয় গ্রাম প্রতি ঘন-সে. মি.তে (gm./cc.)	ρ প্রকাশ করা হয় পাউণ্ড প্রতি ঘনফুটে (lbs./c.ft.)
এবং P প্রকাশ করা হয় ডাইন প্রতি বর্গ-সে. মি.তে (dynes/sq.cm.)।	এবং P প্রকাশ করা হয় পাউণ্ডাল প্রতি-বর্গফুটে (poundals/sq. ft.)।

উদাহরণ। (1) 10 cm. ব্যাসের একটি চোঙের মধ্যে 40 cm. উচ্চতা পর্যন্ত পারদ পূর্ণ করা হইল (পারদের ঘনত্ব 13·6 gm./c.c.)। ঐ চোঙের তলদেশের কোন একটি বিন্দুতে চাপের পরিমাণ এবং ঐ চোঙের তলদেশের উপর মোট ঘাতের পরিমাণ কত তাহা নির্ণয় কর। [Calculate the pressure at a point on the base of a cylinder 10cm. in diameter filled with mercury of density 13·6 gm./c.c. to a height of 40 cm. and also calculate the thrust upon the base of the cylinder.]

উত্তর। প্রশ্ন হিসাবে $h = 40$ cm.,

$\rho = 13{\cdot}6$ gm./c.c.

এবং অভিকর্ষজাত ত্বরণ g ধরা হইল in C.G.S. unit.

সুতরাং তরলের চাপ $P = h\rho g$

$= 40 \times 13{\cdot}6 \times g$ dynes/sq. cm.

$= 40 \times 13{\cdot}6$ gm. wt./sq.cm.

$= 544$ gm. wt./sq.cm.

আবার চোঙের তলদেশের ক্ষেত্রফল

$A = \pi r^2$

এক্ষেত্রে $r = \frac{10}{2} = 5$ cm.

সুতরাং $A = \pi \times 5^2$

$= 3{\cdot}14 \times 25 = 78{\cdot}5$ sq.cm.

সুতরাং, তরলের ঘাত $F = P \times A$

অথবা $F = 544 \times 78{\cdot}5$ gm. wt.

$= 42704$ gm. wt.

$= 4{\cdot}27 \times 10^4$ gm. wt. (আনুমানিক)

(2) সমুদ্রের জলের ঘনত্ব 1·025 হইলে 10 ft. গভীরতায় প্রতি বর্গফুটে উহার চাপের পরিমাণ পাউণ্ডভারে নির্ণয় কর। 1 ঘনফুট বিশুদ্ধ জলের ওজন 62·5 lbs. [The density of sea-water is 1·025. Find the pressure at the depth of 10 ft. below the surface in pounds/sq. ft., given that 1 c. ft. of water weighs 62·5 lbs.] [C. U. 1927]

উত্তর। সমুদ্রের জলের ঘনত্ব 1·025—এই উক্তিতে এক্ষেত্রে মনে করিবে 1 c. ft. সমুদ্রের জলের ভর বিশুদ্ধ জলের ভর অপেক্ষা 1·025 গুণ অধিক।

সুতরাং 1 c. ft. সমুদ্রের জলের ভর $= 62·5 \times 1·025$ lbs.

আমরা জানি, F. P. S. পদ্ধতিতে $P = h\rho g$ Poundals/sq. ft.

$= h\rho$ lb.wt./sq. ft.

প্রশ্ন হিসাবে, $h = 10$ ft. এবং $\rho = 1·025 \times 62·5$ lbs./c.ft.

সুতরাং এক্ষেত্রে, $P = h\rho = 10 \times 1·025 \times 62·5$ lb. wt./sq. ft.

$= 640·625$ lb.wt./sq. ft.

(3) 3 ft. চওড়া এবং 5ft. উচ্চতার একটি আয়তাকার চৌবাচ্চা জলপূর্ণ করিলে উহার প্রতি পার্শ্বের উপর জলের ঘাত নির্ণয় কর (প্রতি ঘনফুট জলের ওজন 62·5 lbs.)। [Find the thrust on each side of a rectangular tank of width 3 ft. and height 5 ft. filled with water. Weight of water per cubic foot is 62·5 lbs.]

উত্তর। চৌবাচ্চার প্রতি পার্শ্বের ক্ষেত্রফল $= 5 \times 3 = 15$ বর্গফুট ;

চৌবাচ্চার উপরতল হইতে প্রতি পার্শ্বের কেন্দ্রের গভীরতা $h = \frac{5}{2} = 2·5$ ft.

$\therefore$ প্রতি পার্শ্বের উপর জলের গড় চাপ $P = 2·5 \times 62·5$ lb.wt./sq. ft.

সুতরাং, প্রতি পার্শ্বের উপর জলের ঘাত

$F = P \times$ পার্শ্বের ক্ষেত্রফল

$= 2·5 \times 62·5 \times 15$

$= 2343·75$ lbs. wt.

$= 2343·75 \times 32$ পাউণ্ডাল

$\doteq 75000$ পাউণ্ডাল (Poundals).

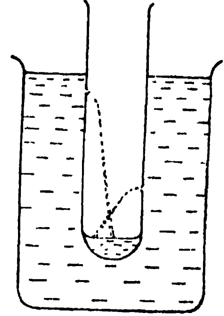
(স্মরণ রাখিবে, F. P. S. পদ্ধতিতে $g = 32$ ft./sec²)

7·5. তরলের চাপের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of liquid pressure) :

(i) **তরল স্থির অবস্থায় থাকিলে পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে** (Liquid, at

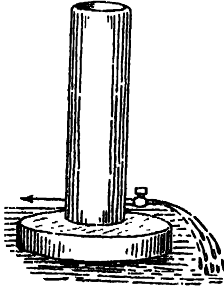
rest, exerts sideways or lateral pressure)—তরল যে পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে তাহার দৃষ্টান্ত আমরা প্রায়ই দেখিতে পাই।

একটি জলপূর্ণ কলসীর গাত্রে যদি ছিদ্র থাকে তাহা হইলে আমরা দেখিতে পাই যে, কলসীর ঐ ছিদ্র দিয়া সূক্ষ্মধারায় জল বাহির হয়। আবার কোন কাচের টেস্ট-টিউবের গাত্রে ছিদ্র করিয়া যদি উহাকে জলে ডুবাইয়া ধরা যায়, তাহা হইলে দেখিতে পাওয়া যায় যে বাহিরের জল ছিদ্র দিয়া টেস্ট-টিউবের মধ্যে সূক্ষ্মধারায় প্রবেশ করে (চিত্র 7C)। তরল পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে বলিয়াই ঐরূপ হইয়া থাকে।


চিত্র 7C

পরীক্ষাগারে তরলের এই পার্শ্বচাপ নিম্নলিখিতভাবে দেখানো হইয়া থাকে।

পরীক্ষা ঃ একটি পাতলা ধাতব চোঙের নীচের অংশে একটি প্যাঁচকল সংযুক্ত আছে এবং জলপূর্ণ অবস্থায় এই ধাতব চোঙটি একখণ্ড কর্কের উপর খাড়াভাবে ভাসানো রহিয়াছে (7D চিত্রে দ্রষ্টব্য)। এখন প্যাঁচকলটি খুলিয়া দাও। দেখিতে পাইবে, প্যাঁচকল দিয়া জল বাহির হইতেছে এবং সঙ্গে সঙ্গে ভাসমান চোঙটিও কর্কসহ জলপ্রবাহের বিপরীত দিকে আস্তে আস্তে সরিয়া যাইতেছে।


চিত্র 7D

জলপ্রবাহের বিপরীত দিকে চোঙটির এই গতি জলের পার্শ্বচাপ সূচিত করে। যখন প্যাঁচকলটি বন্ধ থাকে তখন যে-কোন লেভেলে (level) চোঙের গায়ে জলের চাপ সমান এবং বিপরীত থাকে। কিন্তু যখনই প্যাঁচকলটি খুলিয়া দেওয়া হয় তখন প্যাঁচকলের মুখে জলের চাপ থাকে না; কিন্তু উহার বিপরীত দিকে জলের চাপ রহিয়া যায়। এই অসমান চাপের ফলেই কর্কসহ ভাসমান চোঙটি জলপ্রবাহের বিপরীত দিকে চলিতে থাকে।

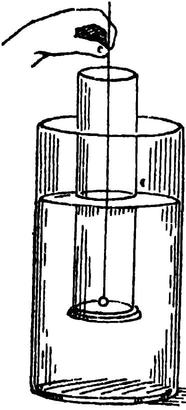
চোঙটির বিপরীতমুখী এই অনুভূমিক গতি হইতে আরও বুঝিতে পারা যায় যে, পাত্রের গাত্রে তরলের এই পার্শ্বচাপ লম্বভাবে ক্রিয়া করে। প্রসঙ্গতঃ, উল্লেখ করা যায় যে বার্কার মিলের (Barker's Mill) ঘূর্ণন তরলের এই পার্শ্বচাপের অস্তিত্ব নির্দেশ করে।

(ii) **তরল স্থির অবস্থায় থাকিলে উহার অভ্যন্তরস্থ কোন বিন্দুতে তরলের ঊর্ধ্বচাপ এবং নিম্নচাপ পরিলক্ষিত হয় এবং উহাদের পরিমাণ সমান**

(Liquid, at rest, exerts pressure in vertically upward and downward directions at a point within it and they are equal)।

উপরোক্ত সত্যটি আমরা নিম্নের পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করিয়া দেখাইতে পারি।

পরীক্ষাঃ একটি দুই-মুখখোলা কাচের চোঙ এবং আঙটাযুক্ত একটি নগণ্য ওজনের পাতলা ধাতব চাকতি লও। ঐ চাকতিটি এরূপ যে উহা দ্বারা কাচের চোঙটির এক মুখ বন্ধ করিয়া জলে ডুবাইলে জল চুয়াইবে না। ধাতব চাকতির আঙটার সহিত সূতা এমনভাবে বাঁধিতে হইবে যাহাতে সূতাটি টানিলে চাকতিটি চোঙের মুখে লাগিয়া যায়। চওড়া মুখবিশিষ্ট একটি মোটা কাচের পাত্র লইয়া তাহার কিয়দংশ জলে ভর্তি কর। অতঃপর সূতার সাহায্যে চাকতিটিকে চোঙের মুখে আটকাইয়া চোঙটিকে মোটা কাচের পাত্রের জলের মধ্যে খানিকটা ডুবাইয়া সূতাটি ছাড়িয়া দাও (7E চিত্রে দ্রষ্টব্য)। দেখিতে পাইবে, সূতাটি ছাড়িয়া দিলেও চাকতিটি পড়িয়া যাইবে না। ইহার কারণ পাত্রের জল চাকতিটিতে উপরের দিকে চাপ প্রয়োগ করে। ফলে সূতাটি ছাড়িয়া দিলেও চাকতিটি পড়িয়া যায় না। **ইহা হইতে প্রমাণিত হয় তরলের ঊর্ধ্বচাপ আছে।**



চিত্র 7E

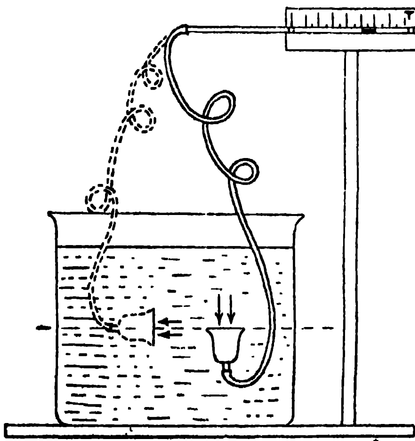
এখন আস্তে আস্তে ঐ চোঙের ভিতরে রঙীন জল ঢাল। লক্ষ্য করিলে দেখিতে পাইবে, চাকতিটি চোঙের মুখে লাগিয়া রহিয়াছে। জল ঢালিতে ঢালিতে যখন চোঙের ভিতরের জলের তল চোঙের বাহিরের কাচের পাত্রের জলের তলের (Level) সমান হয় তখন চাকতিটি পড়িয়া যায়। ইহার কারণ চোঙের জল চাকতিটির উপর নিম্নদিকে চাপ প্রয়োগ করে এবং যখন চোঙের ভিতরের ও বাহিরের দিকের জলের লেভেল সমান হয় তখন চাকতির উপর জলের নিম্নদিকের চাপ ঊর্ধ্বদিকের চাপের সমান হয় এবং চাকতিটি পড়িয়া যায়। সুতরাং **চাকতিটি পড়িয়া যাওয়া হইতে প্রমাণিত হয়, তরলের মধ্যে যে-কোন বিন্দুতে তরলে ঊর্ধ্বচাপ এবং নিম্নচাপ বর্তমান এবং উহাদের পরিমাণ সমান।**

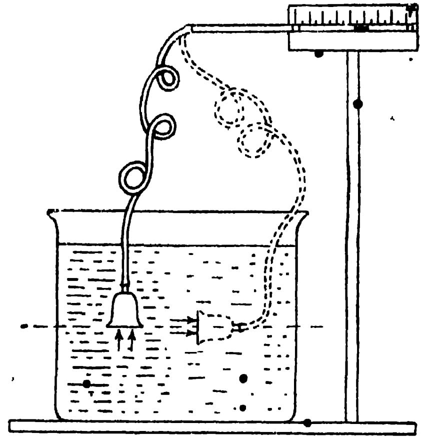
(iii) **তরল স্থির অবস্থায় থাকিলে উহার অভ্যন্তরস্থ কোন বিন্দুতে চতুর্দিক হইতে সম-পরিমাণ চাপ প্রয়োগ করে** (Liquid, at rest, exerts pressure at a point within it in all directions with equal magnitude)—একটি কাচের পাত্রে কিছু তরল পদার্থ লও এবং উহার অভ্যন্তরে যে-কোন একটি বিন্দু কল্পনা কর। এই বিন্দুটির উপর সর্বদিক হইতে পাত্রস্থ তরল চাপ প্রয়োগ

করে এবং তরলের এই বিভিন্নমুখী চাপ পরস্পর সমান। পরীক্ষাগারে নিম্নলিখিতভাবে ইহা দেখানো হইয়া থাকে।

পরীক্ষা : একটি কাচের থিসেল ফানেল (Thistle Funnel) লও এবং উহার চওড়া মুখ একটি পাতলা রবার-পর্দার সাহায্যে (Rubber membrane) এমনভাবে বন্ধ কর যাহাতে উহার মুখ দিয়া জল চুয়াইতে না পারে। ফানেলের অপর প্রান্ত রবার-নলের সাহায্যে একটি সরু সমছিদ্রবিশিষ্ট কাচনলের সহিত সংযুক্ত কর। এখন কাচনলটিকে একটি কাঠের ফ্রেমে অনুভূমিক অবস্থায় আটকাইয়া দাও এবং কাঠের ফ্রেমটির উপর কাচের নল বরাবর একটি স্কেল স্থাপন কর। সূচকের (Index) কাজ করিবার জন্য কাচনলের ভিতর সামান্য কিছু রঙীন জল লইবে। ফ্রেম-সংলগ্ন স্কেল হইতে এই রঙীন জলের সূচকটির অবস্থান বুঝা যাইবে।

এখন কাচের ফানেলের মুখটিকে নীচু অবস্থায় রাখিয়া একটি পাত্রের জলের মধ্যে নিমজ্জিত কর (7F (ii) চিত্রে দেখ)। দেখিতে পাইবে, কাচনলের মধ্যস্থ রঙীন জল ডানদিকে সরিয়া যাইতেছে। ইহা দ্বারা বুঝা যায়, ফানেলের মুখে রবারের পর্দার উপর **জল ঊর্ধ্বমুখে চাপ প্রয়োগ করিতেছে।** এই চাপের ফলে ফানেলে এবং রবার-


চিত্র 7F(i)


চিত্র 7F(ii)

নলের মধ্যস্থ বায়ু সঙ্কুচিত হইয়া কাচনলের রঙীন জলকে চাপ দিয়া ডানদিকে সরাইয়া দিতেছে।

এখন যদি ঐ কাচের ফানেলটিকে পূর্বের ন্যায় সমান গভীরতা-বিশিষ্ট জলে নিমজ্জিত করিয়া ঊর্ধ্বে, পার্শ্বে যে-কোন অভিমুখে স্থাপন কর দেখিতে পাইবে, কাচনলের রঙীন জল একই জায়গায় অবস্থান করিতেছে (7F(i) এবং 7F(ii) চিত্রে

দেখ)। **ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে তরল উহার অভ্যন্তরস্থ কোন নির্দিষ্ট বিন্দুর উপর চারিদিক হইতে সমান চাপ প্রয়োগ** করে।

পুনরায়, ঐ বিন্দুর মধ্য দিয়া একটি অনুভূমিক তল কল্পনা করিয়া তাহার যে-কোন স্থানে ফানেলটি লইয়া ডানদিকে বামদিকে যে দিকে ঘোরাও না কেন, দেখিতে পাইবে যে কাচনলের রঙীন জল একই জায়গায় স্থির আছে। **ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে একই অনুভূমিক তলে অবস্থিত সকল বিন্দুতে তরলের চাপ সর্বত্র সমান।**

(iv) **তরল স্থির অবস্থায় থাকিলে উহার অভ্যন্তরস্থ কোন বিন্দুতে তরলের চাপের পরিমাণ সেই বিন্দুর গভীরতার উপর নির্ভর** করে (Pressure at a point within a liquid, at rest, depends on the depth of the point below the free surface)।

7·4 অনুচ্ছেদে আমরা আলোচনা করিয়াছি যে কোন বিন্দুতে তরলের চাপ P গাণিতিক সঙ্কেতে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায় :—

$P = h\rho g$ (এক্ষেত্রে ρ—ঘনত্ব, g—অভিকর্ষজাত ত্বরণ এবং h—বিন্দুর গভীরতা)

এখন আমরা জানি, কোন নির্দিষ্ট তরলের ঘনত্ব 'ρ' এবং কোন নির্দিষ্ট স্থানে 'g' এর মান অপরিবর্তনীয় ; সুতরাং কোন নির্দিষ্ট তরলের ক্ষেত্রে $\rho g =$ ধ্রুবক।

এই হিসাবে, $P =$ ধ্রুবক $\times h$

সুতরাং $P \propto h$,

অর্থাৎ আমরা বলিতে পারি, **চাপের পরিমাণ তরলের গভীরতার সমানুপাতিক। অর্থাৎ গভীরতা-বৃদ্ধিতে তরলের চাপের পরিমাণ বৃদ্ধি পায় এবং কম গভীরতায় তরলের চাপ অপেক্ষাকৃত কম পরিলক্ষিত হয়।**

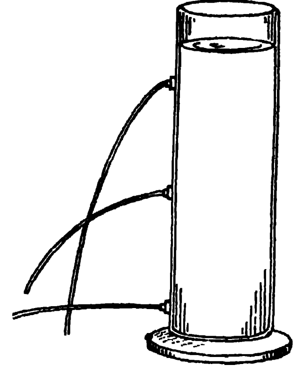
নিম্নবর্ণিত পরীক্ষাগুলির সাহায্যে বুঝা যায় যে তরলের গভীরতা-বৃদ্ধিতে চাপের বৃদ্ধি এবং গভীরতা-হ্রাসে চাপের হ্রাস হয়।

1 নং পরীক্ষা : 7·5 (3) অনুচ্ছেদের পরীক্ষায় বর্ণিত মুখবদ্ধ থিসেল ফানেলটিকে জলের যত অধিক গভীরতার মধ্যে ডুবানো যায়, রঙীন জলের সূচকটি তত অধিক পরিমাণে ডানদিকে সরিয়া যাইতে দেখা যায়। ফানেলটিকে যদি জলের মধ্যে রাখিয়া উপরের দিকে ক্রমশঃ উঠানো হয় তাহা হইলে দেখিতে পাওয়া যায় যে সূচকটি বাঁদিকে সরিয়া আসিতে থাকে।

ইহা দ্বারা বুঝা যায় যে, **তরলের গভীরতার বৃদ্ধির সহিত চাপের পরিমাণের বৃদ্ধি হয় এবং গভীরতা কমিতে থাকিলে চাপের পরিমাণও আনুপাতিকভাবে কমিতে থাকে।**

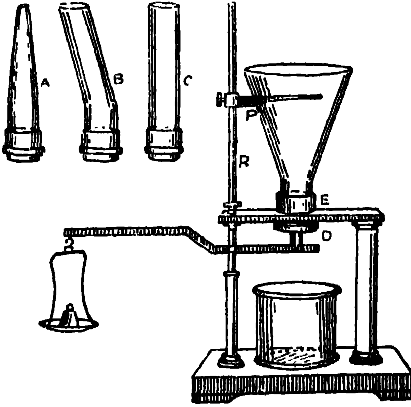
2 নং পরীক্ষা : একটি লম্বা চোঙ লও। ইহার গায়ে বিভিন্ন গভীরতার সমান

আকারের পর পর কয়েকটি ছিদ্র কর এবং এই ছিদ্রগুলি সাময়িকভাবে সম্পূর্ণ বন্ধ করিয়া দাও। এখন চোঙটিকে যে-কোন তরল, মনে কর, জল দ্বারা পূর্ণ কর। অতঃপর চোঙের ছিদ্রগুলি একই সময়ে তাড়াতাড়ি খুলিয়া দাও। দেখিতে পাইবে, চোঙের গা দিয়া জলের ধারা বাহির হইয়া আসিতেছে। কিন্তু চোঙের গায়ের সর্বনিম্ন ছিদ্র দিয়া ঐ জলধারা বেশী বেগে বাহির হইয়া অধিকদূর পর্যন্ত প্রসারিত হইতেছে এবং সর্বাপেক্ষা উপরের ছিদ্র হইতে ঐ জলধারা অল্পদূরে যাইতে পারিতেছে (7G চিত্রে দেখ)। জলধারার এই গতি দেখিয়া বুঝা যায় যে **তরলের গভীরতা যত বেশী হয় তরলের চাপ ততই বৃদ্ধি পায়** এবং গভীরতা কমিলে ঐ চাপের হ্রাস হয়।



চিত্র 7G

3 নং পরীক্ষা ঃ পাস্কালের পাত্র সাহায্যে পরীক্ষা (Pascal's vases experiment)—7H চিত্রে *A*, *B*, *C* ইত্যাদি কয়েকটি দুই-মুখখোলা পাত্র দেখানো হইয়াছে। এই পাত্রগুলির বৈশিষ্ট্য এই যে, যদিও উহাদের আকার এবং আয়তন বিভিন্ন কিন্তু উহাদের নীচের মুখের প্রস্থচ্ছেদ সমান এবং নীচের মুখগুলির প্রত্যেকটিতে স্ক্রু-প্যাচ কাটা আছে। এই পাত্রগুলিকে পাস্কালের পাত্র (Pascal's vases) বলা হয়। চিত্রে এই পাত্রগুলিকে বসানোর জন্য একটি ফ্রেম (frame) বা কাঠামো প্রদর্শিত হইয়াছে। এই ফ্রেমের পাটাতনের উপর একটি স্ক্রুর প্যাচ-করা ছিদ্র আছে এবং ঐ ছিদ্রের মুখের ক্ষেত্রফল পাস্কালের পাত্রগুলির নীচের মুখের প্রস্থচ্ছেদের সমান।



চিত্র 7H

একটি উল্লম্বদণ্ড '*R*' ফ্রেমটির সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আটকানো রহিয়াছে। ফ্রেমের নীচের দিকে একটি লিভার (Lever) আছে। এই লিভারের আলম্বটি (Fulcrum) দণ্ডের গায়ে সংযুক্ত এবং উহার একপ্রান্তে একটি তুলাপাত্র এবং অপরপ্রান্তে একটি সুসমতল ধাতব চাক্তি *D* সংযুক্ত আছে। এই চাক্তির সাহায্যে পাটাতনের ছিদ্রের মুখ

পুরোপুরিভাবে বন্ধ করা যায় (7H চিত্রে দেখ)। দণ্ডটির উপরের দিকে P একটি সূচক (Pointer)। ইহাকে স্ক্রুর সাহায্যে দণ্ড বরাবর উঠানামা করানো সম্ভব হয়।

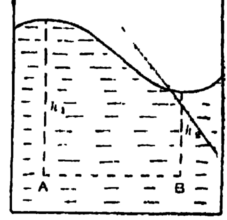
এখন মনে কর, E পাত্রটি প্যাঁচ কষিয়া পাটাতনের ছিদ্রে আটকানো হইল এবং লিভার-সংলগ্ন তুলাপাত্রে কিছু পরিমাণ ওজন বসানো হইল। ইহার ফলে লিভারের অপরপ্রান্তের D চাক্‌তিটি পাটাতনের ছিদ্রের মুখ বন্ধ করিয়া দেয়। অতঃপর ঐ পাত্রটির মধ্যে আস্তে আস্তে জল ঢালিতে থাক যে পর্যন্ত না জলের চাপে চাক্‌তিটি নীচের দিকে নামিয়া পাত্রস্থ জল নীচের ছিদ্র দিয়া বাহির হইয়া যায়। এই অবস্থায় সূচকটির সাহায্যে E পাত্রের জলের উচ্চতা নির্দেশ করিয়া রাখ। অতঃপর সূচকটির অবস্থান স্থির রাখিয়া অপর পাত্রগুলিকে একটির পর একটি করিয়া পাটাতনে বসাইয়া অনুরূপ পরীক্ষা-কার্য চালাও। দেখিতে পাইবে, প্রতিটি ক্ষেত্রেই জলের উপরিস্থিত তল যখন সূচক পর্যন্ত পৌছায় তখন চাক্‌তিটি নীচে নামিয়া আসে এবং পাত্র হইতে জল পড়িয়া যায়।

এই পরীক্ষার ফলে আমরা দেখিতে পাই যে, বিভিন্ন পাত্রের জল যখন সূচক পর্যন্ত পৌছায় তখনই চাক্‌তিটির উপর জলের মোট চাপ বা ঘাত সমান এবং উহা তুলাপাত্রে রক্ষিত ওজনের সমান। যেহেতু পাত্রগুলির আয়তন বিভিন্ন সেইজন্য পাত্রগুলি যখন একই উচ্চতা পর্যন্ত জলে পূর্ণ করা হয় তখন বিভিন্ন পাত্রের জলের পরিমাণ বিভিন্ন। যদি পাত্রস্থিত জলের পরিমাণ অনুযায়ী চাক্‌তির উপর জলের ঘাত নির্ভর করিত তাহা হইলে চাক্‌তিটিকে পাত্রের মুখে বন্ধ করিয়া রাখিবার জন্য তুলাপাত্রে বিভিন্ন ওজন বসাইতে হইত। ইহা যখন দরকার হয় না তখন **ইহাই প্রমাণিত হয়, পাত্রের তলায় জলের ঘাত, সুতরাং জলের চাপ উহার উচ্চতার উপর অর্থাৎ জলের তলার গভীরতার উপর নির্ভর করে।**

[স্মরণ রাখিবে, পাস্কাল পাত্রের এই পরীক্ষাকে অনেক সময় উদকূটের (Hydrostatic Paradox) একটি উদাহরণ হিসাবে গণ্য করা হয়।]

7·6. কোন পাত্রে তরল স্থির অবস্থায় থাকিলে ঐ তরলের উপরিস্থিত তল সর্বদা অনুভূমিক হইবে (The free surface of a liquid, at rest, is horizontal) : মনে কর, একটি পাত্রে জল রাখা হইল এবং উহার উপরিস্থিত তল অনুভূমিক না হইয়া বক্রাকারে রহিয়াছে (7I চিত্রে দেখ)। এমতাবস্থায় জলের মধ্যে দুইটি বিন্দু A এবং B একই অনুভূমিক রেখায় কল্পনা কর। মনে কর, A বিন্দুর গভীরতা h_1 সে.মি. এবং B বিন্দুর গভীরতা h_2 সে.মি., তাহা হইলে জলের চাপ A বিন্দুতে $= h_1 \times g$; এবং B বিন্দুতে $= h_2 \times g$ ($\because$ জলের ঘনত্ব একক)

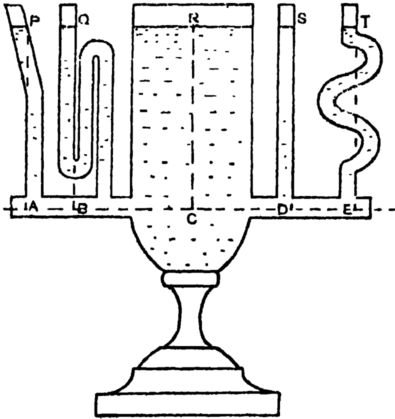
এখন যেহেতু (চিত্রদৃষ্টে) $h_1 > h_2$; সুতরাং A বিন্দুতে জলের চাপ B বিন্দুতে জলের চাপের তুলনায় অধিক। কিন্তু ইহা সম্ভব নহে। যেহেতু জল পাত্রের মধ্যে স্থির অবস্থায় আছে এবং A ও B বিন্দু জলের মধ্যে একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থান করে। সুতরাং স্থির অবস্থায় জলের ধর্ম হিসাবে A এবং B বিন্দুতে জলের চাপ সমান হইবে। কাজেই জল স্থির অবস্থায় থাকিলে উহার উপরিস্থিত তল বক্রাকার না হইয়া সর্ব্বদা অনুভূমিক হইবে।



চিত্র 71

7·7. পরস্পর-সংযুক্ত পাত্রে তরল পদার্থ একই তলে থাকিতে চাহে (In a communicating vessel a liquid at rest seeks its own level) ঃ

উদাহরণ। বিভিন্ন আকৃতি ও আয়তন বিশিষ্ট কতকগুলি পাত্র পরস্পর সংযুক্ত করিলে যে সামগ্রিক পাত্রটি হয় তাহাকে আমরা ইংরাজীতে 'Communicating vessel' বলিয়া থাকি। 7J চিত্রে পরস্পর সংযুক্ত এরূপ একটি পাত্র দেখানো হইল।



চিত্র 7J

এই পাত্রের যে-কোন একটিতে জল ঢাল। দেখিতে পাইবে, বিভিন্ন পাত্রে জল প্রবেশ করে। আরও লক্ষ্য করিলে দেখিতে পাইবে, প্রত্যেক পাত্রে জলের উচ্চতা একই এবং পাত্রস্থিত জলের উপরিতল সকল পাত্রে একই অনুভূমিক তলে (horizontal level) অবস্থান করে। তরলের এই বিশেষ ধর্ম নিম্নলিখিতভাবে ব্যাখ্যা করা যায়।

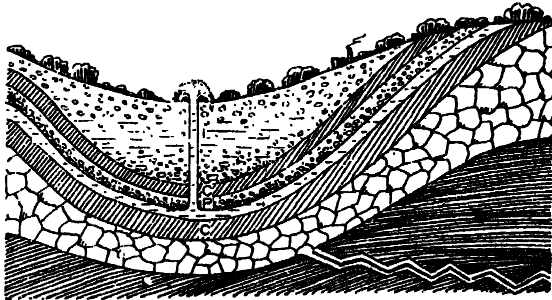
মনে কর, A, B, C, D, E যথাক্রমে পরস্পর-সংযুক্ত পাত্রস্থিত তরলের তলদেশে একই অনুভূমিক রেখায় পাঁচটি বিন্দু। যেহেতু পরস্পর-সংযুক্ত পাত্রে জল স্থির অবস্থায় আছে, সুতরাং ঐ একই অনুভূমিক রেখার উপর কল্পিত পাঁচটি বিন্দুর উপর তরলের চাপ সমান। আবার যেহেতু কোন বিন্দুতে জলের চাপ উহার গভীরতার উপর নির্ভর করে, সুতরাং জলের মধ্যস্থ ঐ বিন্দুগুলির প্রত্যেকটিরই গভীরতা সমান। এই সম-গভীরতাই নির্দেশ করে, চিত্রের P, Q, R, S, T একই অনুভূমিক তলে অবস্থিত।

7·8. 'পরস্পর-সংযুক্ত পাত্রে তরল একই তলে থাকিতে চায়'—এই ধর্মের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical application of liquid seeking its own level): স্থির অবস্থায় থাকিলে তরল পদার্থ যে একই তলে থাকিতে চাহে—তরলের এই ধর্মের ব্যবহারিক প্রয়োগ একাধিক ক্ষেত্রে পরিলক্ষিত হয়। নিম্নে ইহার কয়েকটি দৃষ্টান্ত বর্ণিত হইল।

(ক) **Water level apparatus**—এই যন্ত্রে একটি ধাতব নলের দুই প্রান্ত সমকোণে বাঁকানো এবং ইহার দুই প্রান্তে দুইটি কাচনল বসানো আছে এবং ধাতব নলটি একটি তেপায়ার উপর সংরক্ষিত। যন্ত্রটি ব্যবহারের সময় নলের মধ্যে জল ঢালিয়া দেওয়া হয়। যদি তেপায়াটি অনুভূমিক তলে সংরক্ষিত হয়, তাহা হইলে দুই বাহুর জল একই তলে থাকে। অন্যথায় দুই বাহুতে জলের উপরের তল এক উচ্চতায় থাকে না।

পূর্বে রাস্তাঘাট, রেলওয়ে-নির্মাণ প্রভৃতিতে জমির লেভেল পরীক্ষা করিবার জন্য এই যন্ত্রের বহুল প্রয়োগ ছিল। বর্তমানে আমরা Spirit-level-এর সাহায্যে কোনস্থান অনুভূমিক কিনা তাহা পরীক্ষা করিয়া থাকি।

(খ) **আর্টেজীয় কূপ (Artesian Well)**—ভূপৃষ্ঠের অভ্যন্তর নানারকম স্তর দ্বারা গঠিত। ইহাদের মধ্যে কতকগুলি প্রবেশ্য স্তর এবং কতকগুলি অপ্রবেশ্য স্তর। প্রবেশ্য স্তর নরম মাটি ইত্যাদি দ্বারা গঠিত বলিয়া ইহাদের মধ্য দিয়া সহজেই জল প্রবেশ করিতে পারে। কিন্তু অপ্রবেশ্য স্তরগুলি শিলা, পাথর প্রভৃতি দ্বারা গঠিত হওয়ায় উহাদের মধ্যে জল প্রবেশ করিতে পারে না। যখন ভূপৃষ্ঠের অভ্যন্তরে দুইটি অপ্রবেশ্য স্তরের ভিতর একটি প্রবেশ্য স্তর রেকাবীর ন্যায় বাঁকা অবস্থায় থাকে, (চিত্র 7K) তখন বৃষ্টির জল ইত্যাদি এই প্রবেশ্য স্তরে সঞ্চিত হয়। এইরূপ অবস্থায়

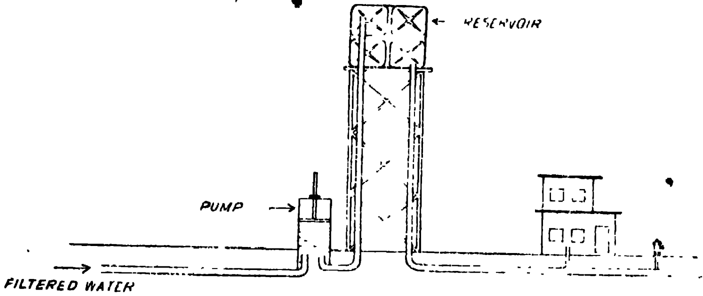


চিত্র 7K

ভূপৃষ্ঠের উপর হইতে প্রবেশ্য স্তর পর্যন্ত যদি একটি নল বসানো হয়, তাহা হইলে দেখিতে পাওয়া যায়, ঐ নল দিয়া জল সহজে বাহির হইয়া আসে। জল সর্বদাই একই তলে ফিরিয়া আসিতে চাহে—এই ধর্ম অনুসারে জল ভূপৃষ্ঠের অভ্যন্তর হইতে ঐ নল

বাহিয়া বাহির হইয়া আসে। এই ধরনের কূপকে আর্টেজীয় কূপ নামে অভিহিত করা হয়। ফ্রান্সে আঁতোয়া (Artois) নামক স্থানে সর্বপ্রথম এই ধরনের কূপ খনন করা হইয়াছিল বলিয়া এই ধরনের কূপকে আর্টেজীয় কূপ বলা হয়। বর্তমানে মরুভূমি অঞ্চলে এই ধরনের কূপ খনন করিয়া ঐ অঞ্চলে কৃষিকার্য চালানো হইতেছে। আর্টেজীয় ধরনের কূপ-নির্মাণ কৌশল হইতে বৈজ্ঞানিকগণ আজকাল মাটির নীচে খনি হইতে তৈল নিষ্কাশন করিতেছেন।

(গ) **শহরে জল-সরবরাহের ব্যবস্থা** (City water supply)—পরস্পর-সংযুক্ত পাত্রে তরল একই তলে থাকিতে চাহে—এই নীতি অবলম্বন করিয়া বড় বড় শহরে সাধারণতঃ জল-সরবরাহের ব্যবস্থা করা হয়। শহরের সর্বাপেক্ষা যেসব উচ্চস্থানে জল সরবরাহ করা হইবে তাহা অপেক্ষা আরও অধিক উচ্চে একটি প্রকাণ্ড জলাধার (Reservoir) নির্মাণ করা হয়। নদী বা পুকুরের জল পরিস্রুত করিয়া পাম্পের সাহায্যে



চিত্র 7L

ঐ জলাধারে জল সঞ্চিত করা হয় (7L চিত্র)। ঐ জলাধার হইতে একটি মোটা নল নীচে নামিয়া আসে এবং উহা শাখানলে বিভক্ত হইয়া শহরের বিভিন্ন অঞ্চলে চলিয়া যায়। আবার এই শাখানলগুলি হইতে অসংখ্য ক্ষুদ্রতর শাখানল বাহির হইয়া ফেরুল-সংযোগে শহরের বিভিন্ন গৃহে জল সরবরাহ করা হইয়া থাকে। পরে উর্ধ্বগামী নলের সাহায্যে এই জল প্রতি বাড়ির দোতলা, তিনতলা বা আরও উর্ধ্বে লইয়া যাওয়া হয়।

জলের সমোচ্চশীলতা ধর্মের জন্য আধারের জল যে লেভেলে আছে বাড়ির উর্ধ্বগামী জলও সেই লেভেলে উঠিতে চাহে। কিন্তু বস্তুতঃ নলের সঙ্গে ঘর্ষণের জন্য জল অতটা উপরে উঠে না এবং তাছাড়া নল যত লম্বা হয় এই ঘর্ষণের পরিমাণ তত বেশী হওয়ায় জলের চাপ ক্রমশঃ কম হইয়া যায়। এ কারণে জলাধার হইতে দূরে অবস্থিত বাড়িগুলির দোতলা, তিনতলায় উপযুক্ত পরিমাণ জল পাওয়া অনেকটা কষ্টসাধ্য হইয়া পড়ে।

সারাংশ

কোন বিন্দুতে তরলের চাপ এবং ঘাত—মনে কর, কোন বিন্দুর চারিদিকে একটি ছোট ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল A. উহার উপর তরল যে বল প্রয়োগ করে তাহার পরিমাণ F, তাহা হইলে ঐ বিন্দুতে তরলের চাপ $P=\frac{F}{A}$,

এবং A ক্ষেত্রের উপর তরলের ঘাত $F=P \times A$.

গাণিতিক সঙ্কেতে কোন বিন্দুতে তরলের চাপ—

$P =$ বিন্দুর গভীরতা $(h) \times$ তরলের ঘনত্ব $(\rho) \times$ অভিকর্ষজাত ত্বরণ (g)

$= h.\rho.g.$

স্থির অবস্থায় তরলের চাপের বৈশিষ্ট্য :

(i) কোন বিন্দুতে তরলের চাপ সর্বদিকে সম-পরিমাণে প্রযুক্ত হয়।

(ii) কোন বিন্দুতে তরলের চাপের পরিমাণ সেই বিন্দুর গভীরতার উপর নির্ভর করে।

স্থির তরল পদার্থের উপরিস্থিত তল সর্বদা অনুভূমিক হইবে। পরস্পর-সংযুক্ত পাত্রে তরল পদার্থ একই তলে থাকিতে চাহে। এই সূত্র অবলম্বন করিয়া বড় বড় শহরে জল-সরবরাহের ব্যবস্থা করা হইয়াছে। আর্টেজীয় কূপের কার্য-পদ্ধতিতেও এই নীতি অনুসৃত হইয়া থাকে।

প্রশ্নমালা

1. তরল পদার্থ স্থির অবস্থায় থাকিলে উহার মধ্যে কোন বিন্দুতে তরলের চাপ বলিতে কি বোঝ? পরীক্ষাদ্বারা দেখাও যে, ঐ চাপ সকল দিকে সমান। [What do you mean by pressure at a point inside a liquid at rest? Show by experiments that the pressure at a point inside a liquid is equal in all directions.]

2. তরলের চাপ এবং ঘাতের মধ্যে পার্থক্য কি? একটি পাত্র তরলদ্বারা পূর্ণ এবং পাত্রটির তলদেশ অনুভূমিক। ঐ পাত্রের তলদেশের উপর তরল পদার্থের ঘাত এবং উহার উপর কোন এক বিন্দুতে তরলের চাপ নির্ণয় কর। [Distinguish between pressure and thrust of a liquid. A vessel is filled with a liquid and its bottom is horizontal. Calculate the thrust of the liquid over the bottom and the pressure at a point on it.]

3. তরলের পার্শ্বচাপের অস্তিত্ব একটি পরীক্ষাদ্বারা বুঝাইয়া দাও। [Explain

with a suitable experiment the existence of lateral pressure of a liquid.]

4. তরলের অভ্যন্তরস্থ কোন বিন্দুতে তরলের উর্ধ্বচাপ এবং নিম্নচাপ যে সমান তাহা পরীক্ষাদ্বারা বুঝাইয়া দাও। [Explain with a suitable experiment that the upward and downward pressure at a point in a liquid at rest is equal in magnitude.]

5. তরল যে একই তলে থাকিতে চাহে তাহা পরীক্ষাদ্বারা বুঝাইয়া দাও।

আর্টেজীয় কূপ এবং শহরে জল-সরবরাহের ক্ষেত্রে কি প্রকারে তরলের উপরোক্ত বৈশিষ্ট্য প্রযুক্ত হয় তাহা বুঝাইয়া দাও।

[Explain with suitable experiment that liquid seeks its own level.

Explain how in the working of Artesian well and City-water supply the above characteristic of liquid has been applied.]

6. (a) একটি জলস্তম্ভের এবং (b) একটি পারদস্তম্ভের 100 cms. গভীরতায় চাপের পরিমাণ নির্ণয় কর (পারদের ঘনত্ব 13·6 gms./c.c.)। [Calculate the pressure due to (a) column of water 100 cms. in depth and (b) a column of mercury (density 13·6 gms./c.c.) 100 cms. in depth.]

[উত্তর : (a) 100 gms./sq. cm. (b) 1360 gms./sq. cm.]

7. একটি চোঙের ব্যাস 10 cms.। উহার 40 cms. উচ্চতা পর্যন্ত পারদ দ্বারা পূর্ণ। পারদের ঘনত্ব 13·6 gms./c.c. চোঙটির তলদেশে পারদের মোট ঘাত কত তাহা নির্ণয় কর। [Calculate the total thurst upon the base of a cylinder 10 cms. in diameter filled with mercury of density 13·6 gms./c.c. to a height of 40 cms.] [উত্তর : $4{\cdot}27 \times 10^4$ gms. wt.]

8. যদি সমুদ্রজলের ঘনত্ব 1·025 gms./c.c. হয়, তাহা হইলে 4000 cms. গভীরতায় প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে সমুদ্রের জলের চাপ গ্রাম-ওয়েটে নির্ণয় কর। [If the density of sea-water is 1·025 gms./c.c., calculate the pressure in gms. wt. per sq. cm. at a depth of 4000 cms. below the surface of the sea.] [উত্তর : 4100 gms. wt./sq. cm.]

9. সমান গভীরতায় ডকের একটি Flood-gate এর উপর সমুদ্রজলের চাপ, নদী কিংবা হ্রদের জলের চাপের তুলনায় বেশী কি কম তাহা বুঝাইয়া দাও। [Is a flood-gate which keeps the sea out of a dock exposed to more or less

pressure than one which keeps out a lake or river ? The depth below the surface of water is supposed to be the same in each case.]

• **10.** চিত্র সহ 'পাস্কাল-পাত্র' পরীক্ষা বর্ণনা কর এবং বুঝাইয়া দাও যে তরলের ঘাত পাত্রের আকারের উপর নির্ভর করে না ; উহা পাত্রের তলদেশের ক্ষেত্রফল এবং পাত্রস্থ তরলের গভীরতার উপর নির্ভর করে। [Describe with a suitable sketch Pascal's Vases experiment and explain how the thrust of the liquid depends on the area of the bottom of the vessel and the depth of the liquid in the vessel but not on the shape and size of the vessel.]

অষ্টম পরিচ্ছেদ

তরলের চাপ সঞ্চালন এবং আনুষঙ্গিক আলোচনা

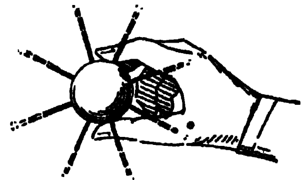
(Transmission of liquid pressure and allied discussion)

8'1. তরলের উপর প্রযুক্ত চাপের সঞ্চালন সম্পর্কে পাস্কালের সূত্র (Pascal's Law for transmission of fluid pressure) ঃ কোন আবদ্ধ পাত্রে তরল রাখিয়া উহার উপর যে-কোন স্থানে চাপ প্রয়োগ করিলে ঐ চাপ তরলের মধ্য দিয়া সম-পরিমাণে সর্বদিকে সঞ্চালিত হয় এবং উহা আবদ্ধ পাত্রের গাত্রে লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

উপরোক্ত নিয়মটি বৈজ্ঞানিক পাস্কাল বাহির করেন এবং পাস্কালের এই নিয়মটি তরল এবং বায়বীয় উভয় পদার্থের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য হয়। এ কারণে পাস্কালের এই নিয়মটিকে **"তরল এবং বায়বীয় পদার্থের চাপ-সঞ্চালন-সম্পর্কিত পাস্কালের সূত্র"** বলা হয়।

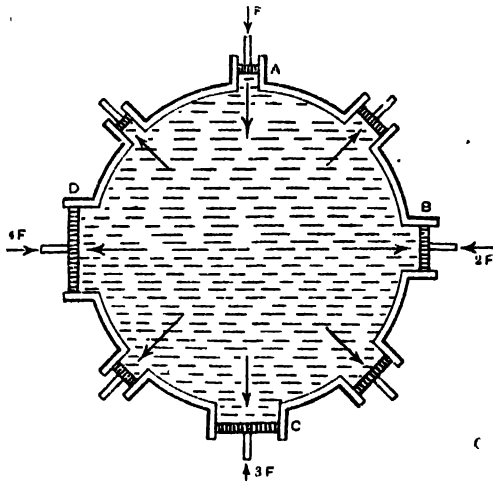
পাস্কাল সূত্রের সত্যতা নির্ণয় ঃ

(ক) **সছিদ্র রবারের বলের সাহায্যে**—একটি রবারের বলে একটি সরু ছিদ্র কর এবং ঐ ছিদ্রের ভিতর দিয়া বলটিকে জলপূর্ণ কর। আঙুলের দ্বারা এই ছিদ্রটিকে বন্ধ করিয়া একটি পিনের সাহায্যে বলটির গায়ে সকলদিকে আরও কতকগুলি ছিদ্র কর। অতঃপর রবার বলটিকে দুইটি আঙুলের মধ্যে রাখিয়া চাপ দাও। দেখিতে পাইবে, ঐ বিভিন্নমুখী সরু ছিদ্রগুলি দিয়া বলের ব্যাসার্ধ বরাবর সমান জোরে জল বাহির হইয়া আসিতেছে (8A চিত্রে দেখ)। ইহা হইতে বুঝা যায় যে যদিও আঙুলের সাহায্যে বলের অভ্যন্তরে জলের উপর খাড়াভাবে চাপ প্রয়োগ করা হইয়াছে কিন্তু ঐ চাপ জলে সমভাবে সর্বদিকে সঞ্চালিত হওয়ায় বলের ছিদ্রগুলি দিয়া সমান বেগে জল বাহির হইয়া আসিতেছে। সুতরাং এই পরীক্ষাটির দ্বারা পাস্কালের নিয়ম সমর্থিত হয়।



চিত্র 8A

(খ) **বিভিন্নমুখী পিস্টন-সংযুক্ত কাচের গোলকের সাহায্যে**—মনে কর, একটি গোলাকৃতি বদ্ধ কাচের পাত্রের গায়ে ব্যাসার্ধ বরাবর কয়েকটি জল-নির্গম-নালী (Tubular outlets) সংযুক্ত আছে। এই নির্গম-নালীগুলি বিভিন্ন প্রস্থচ্ছেদের এবং উহাদের মুখে জল-রোধক (water-tight) গতিশীল পিস্টন (Piston) লাগানো আছে (8B চিত্র দেখ)। বুঝিবার সুবিধার জন্য পিস্টনগুলিকে চিত্রে *A, B, C, D* ইত্যাদি দ্বারা চিহ্নিত করা হইল। এখন যদি *A* পিস্টনকে পাত্রের ভিতরের দিকে ঠেলিয়া দিয়া বদ্ধ পাত্রের জলের উপর নিম্নদিকে চাপ প্রয়োগ করা হয় তাহা হইলে দেখিতে পাওয়া যায় যে, অপর পিস্টনগুলি পাত্রের বাহিরের দিকে সরিয়া যায়। ইহা হইতে বুঝা যায়, জলের উপর কোনদিকে চাপ প্রয়োগ করিলে ঐ প্রযুক্ত চাপ জলের সর্বদিকে সঞ্চালিত হয় এবং ঐ সঞ্চালিত চাপ পাত্রের গাত্রে লম্বভাবে ক্রিয়া করে।



চিত্র 8B

অতঃপর মনে কর, *A, B, C* এবং *D* পিস্টনগুলির প্রস্থচ্ছেদ (sectional area) যথাক্রমে 1, 2, 3 এবং 4 বর্গইঞ্চি। এখন যদি *A* পিস্টনের সাহায্যে জলের উপর 1 পাউণ্ড বল প্রয়োগ করা হয় তাহা হইলে দেখা যাইবে যে, *B, C* এবং *D* পিস্টনগুলিকে তাহাদের যথাস্থানে রাখিতে গেলে ঐ পিস্টনগুলির উপর বাহির হইতে বিপরীত দিকে যথাক্রমে 2 পাউণ্ড, 3 পাউণ্ড এবং 4 পাউণ্ড বল প্রয়োগ করিতে হইতেছে। ইহা হইতে প্রমাণিত হয় যে, প্রত্যেকটি পিস্টনের উপর সঞ্চালিত চাপের পরিমাণ প্রতি বর্গইঞ্চিতে 1 পাউণ্ড। সুতরাং সঞ্চালিত চাপের পরিমাণ প্রযুক্ত চাপের সমান।

উদাহরণ। (1) একটি বোতল তৈল দ্বারা পূর্ণ করিয়া উহার মুখে কর্ক আঁটিয়া দেওয়া হইল। বোতলটির মুখ এবং তলদেশের ব্যাস যথাক্রমে 1·5 ইঞ্চি এবং 3 ইঞ্চি। যদি কর্কের উপর 5 lbs. ওজনের বল প্রয়োগ করা হয় তাহা হইলে বোতলের তলদেশে তরলের ঘাত নির্ণয় কর। [A bottle is completely filled with oil and corked. If the diameter of the neck and bottom of the bottle be one and half inches and 3 inches respectively, calculate the thrust on the bottom when the cork is pressed with a force of 5 lbs. weight.]

সরু নল দ্বারা সংযুক্ত। B চোঙটির প্রস্থচ্ছেদ A চোঙের প্রস্থচ্ছেদের তুলনায় অনেকগুণ বেশী।

(2) A চোঙটির মাথায় একটি নিরেট জলরোধক গতিশীল পিস্টন (P) আছে। উহাকে লিভারের (L) সাহায্যে উঠানো বা নামানো যায়। A চোঙটির নীচের প্রান্ত একটি জলপূর্ণ চৌবাচ্চার (মনে কর R) সঙ্গে সংযুক্ত।

(3) B চোঙটির মাথায় আর একটি নিরেট জলরোধক গতিশীল পিস্টন (Q) আছে। এই মোটা নিরেট পিস্টনটিকে অনেক সময় Hydraulic Ram বলা হয়। এই পিস্টনটির উপরের দিকে একটি লোহার চাদরের (Iron sheet) শক্ত পাটাতন এবং উহার কিছু উপরে অনুরূপ আর একটি পাটাতন আছে। উপরের এই পাটাতনটি চারটি লোহার দণ্ডদ্বারা সংরক্ষিত।

(4) V_1 এবং V_2 দুইটি ভাল্‌ভ্ (Valve)। V_1 ভাল্‌ভ্‌টি A চোঙটির নীচের দিকে লাগানো আছে এবং এই ভাল্‌ভ্‌টি কেবল উপরের দিকে খুলিতে পারে। V_2 ভাল্‌ভ্‌টি C নলের প্রান্তে লাগানো আছে এবং উহা মোটা চোঙটির দিকে খুলিতে পারে। সুতরাং, চৌবাচ্চা হইতে কেবলমাত্র A চোঙ দিয়া B চোঙে জল যাইতে পারে, কিন্তু বিপরীত দিকে জল প্রবাহিত হইতে পারে না।

(5) D একটি প্যাচকল-সংযুক্ত নল। উহা B চোঙ এবং R চৌবাচ্চার মধ্যে সংযোগ স্থাপন করে। প্যাচকলটি খুলিয়া দিয়া B চোঙের জল চৌবাচ্চায় ইচ্ছামত সরাইয়া লওয়া যায়।

কার্যপ্রণালী : L লিভার দণ্ডটির দ্বারা A পিস্টনকে উপরের দিকে তুলিলে চোঙের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ কমিয়া যায়। ফলে জলপূর্ণ চৌবাচ্চা R হইতে V_1 ভাল্‌ভ্ দিয়া জল A চোঙে প্রবেশ করে। অতঃপর লিভারের সাহায্যে A পিস্টনকে নীচের দিকে চাপ দিলে V_1 ভাল্‌ভ্ বন্ধ হয়, V_2 ভাল্‌ভ্ জলের চাপে খুলিয়া যায় এবং B চোঙে জল প্রবেশ করে। এই প্রকারে লিভারটির সাহায্যে A পিস্টনটিকে কয়েকবার উঠানামা করাইয়া উভয় চোঙেই পরিমাণমত জল প্রবেশ করানো হয়।

এমতাবস্থায় লিভারটির সাহায্যে A পিস্টনটিকে নীচের দিকে ঠেলিয়া দিলে A পিস্টনের জলের উপর যে চাপ প্রযুক্ত হয় ঐ চাপ অপরিবর্তিতভাবে সঞ্চালিত হইয়া B পিস্টনটিতে উপরের দিকে ক্রিয়া করে (তীরচিহ্নদ্বারা ছবিতে এই সঞ্চালিত চাপ দেখানো হইল)।

পাস্কালের নিয়মানুসারে B পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ A পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদের তুলনায় যতগুণ অধিক B পিস্টনের উপর ঊর্ধ্বদিকে সঞ্চালিত ঘাত A পিস্টনের সাহায্যে জলের উপর প্রযুক্ত ঘাতের ততগুণ বেশী। ইহার ফলে B পিস্টন এবং উহার পাটাতনে

স্থাপিত বস্তসমূহ প্রচণ্ড বলে উপরের দিকে উঠিতে থাকে। শেষ পর্যন্ত পাটাতনের উপর রক্ষিত ঐ বস্তু লোহার পাত এবং পাটাতনের মধ্যে অত্যধিক চাপ পাইয়া পিষ্ট হয়।

উদাহরণ হিসাবে মনে কর, উপরোক্ত B পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ A পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ অপেক্ষা 200 গুণ বেশী। যদি লিভারের সাহায্যে A চোঙের পিস্টনটি জলের উপর 10 পাউণ্ড ওজনের ঘাত নিম্নদিকে প্রয়োগ করে তাহা হইলে B পিস্টনের উপর উর্ধ্বদিকে সঞ্চালিত জলের মোট ঘাত = 200 × 10 = 2,000 পাউণ্ড হইবে।

স্থতরাং দেখা যায়, যন্ত্রটি চালাইয়া B পিস্টনের পাটাতনের উপর রক্ষিত 2,000 পাউণ্ড ওজনের তুলা কিংবা পাটের গাঁট পিষ্ট করা সম্ভব।

উদাহরণ। একটি হাইড্রলিক প্রেসের ছোট পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ 1 বর্গফুট এবং বড় পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ 20 বর্গফুট। ছোট পিস্টনের উপর 200 পাউণ্ড বল প্রয়োগ করিলে বড় পিস্টনটি কি পরিমাণ ভার উত্তোলন করিতে পারে? [The area of section of the smaller piston of a hydraulic press is one sq. ft. and that of the larger piston twenty sq. ft. How much wt. can be raised on the larger piston by a force of 200 lbs. acting on the smaller piston ?] [C. U. 1946]

উত্তর। এক্ষেত্রে জলের উপর প্রযুক্ত চাপের পরিমাণ = 200 lbs./sq. ft. স্থতরাং, প্লাস্কালের নীতি হিসাবে এই প্রযুক্ত চাপ সমভাবে জলে সঞ্চালিত হওয়ার ফলে বড় পিস্টনের উপর সঞ্চালিত উর্ধ্বমুখী চাপ = 200 lbs./sq. ft.

স্থতরাং, বড় পিস্টনের উপর প্রযুক্ত সঞ্চালিত ঘাত = 200 × বড় পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ,

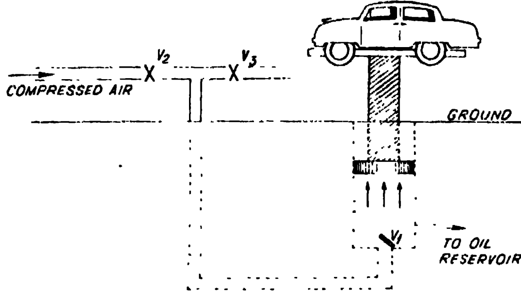
200 × 20 = sq. ft. = 4,000 lbs.

কাজেই বড় পিস্টনটি 4,000 lbs. ওজন উত্তোলন করিতে পারে।

(খ) **হাইড্রলিক গ্যারেজ লিফ্‌ট** (Hydraulic garage lift)—হাইড্রলিক গ্যারেজ লিফ্‌ট্ তরলের ঘাতবৃদ্ধির নীতির ব্যবহারিক প্রয়োগের আর একটি উদাহরণ। তোমরা হয়ত লক্ষ্য করিয়াছ মোটর-গাড়ির কারখানাতে মেরামতের জন্য ভারী ভারী মোটরকে উঁচুতে তুলিয়া মেরামতের কার্য করা হয়। এই ধরনের ব্যবস্থাকে হাইড্রলিক গ্যারেজ লিফ্‌ট্ বলে। ইহার কার্যপদ্ধতি সম্পূর্ণ ব্রামা প্রেসের কার্যপদ্ধতির অনুরূপ।

যন্ত্রের বিবরণ—8F চিত্রে হাইড্রলিক গ্যারেজ লিফ্‌টের একটি সাধারণ নক্‌শা দেখানো হইল। এই যন্ত্রে হাইড্রলিক প্রেসে বর্ণিত মোটা চোঙটির অনুরূপ একটি মোটা চোঙ র‍্যাম সহ মাটির নীচে বসানো থাকে। এই মোটা চোঙটিকে জলের পরিবর্তে তৈল দ্বারা পরিপূর্ণ করা হয় এবং উহার নিম্নদিকে একটি সরু নল সংযুক্ত থাকে। ঐ নলের নীচের উন্মুক্ত মুখে V_1 ভাল্‌ভ্‌ সংলগ্ন এবং উহার অপর প্রান্ত উপরের দিকে উঠিয়া গিয়া আর একটি অনুভূমিক সরু নলের সঙ্গে সংযুক্ত রহিয়াছে এবং এই দুই নলের

সংযোগস্থলের দুইদিকে V_2 এবং V_3 দুইটি ভাল্‌ভ্‌ থাকে (8F চিত্রে দেখ)। চিত্রের V_2 ভাল্‌ভ্‌টি খুলিয়া দিলে উচ্চচাপের বাতাস নল দিয়া প্রবাহিত হইয়া মোটা চোঙটির তেলের উপর চাপ প্রয়োগ করে। এই প্রযুক্ত চাপ ঊর্ধ্বমুখে সঞ্চালিত হইয়া র‍্যামের



চিত্র 8F

তলদেশে প্রচণ্ড বলের সৃষ্টি করে। ইহার ফলে র‍্যামটি এবং উহার উপর অবস্থিত পাটাতন সহ মোটর-গাড়ি উপরের দিকে উঠিয়া যায়। কাজেই তখন মোটর-গাড়ির নীচের অংশে মেরামতী কার্য সুবিধাজনকভাবে করা যায়। আবার মোটর-গাড়ির মেরামতী কার্য হইয়া গেলে V_2 ভাল্‌ভ্‌কে বন্ধ করিয়া V_3 ভাল্‌ভ্‌ খুলিয়া দেওয়া হয়। ইহার ফলে উচ্চচাপের বাতাস (compressed air) বাহির হইয়া যাওয়ায় র‍্যাম সহ মোটর-গাড়িটি পুনরায় নীচে নামিয়া আসে।

(গ) **ঔদক হাপর পরীক্ষা** (Hydrostatic Bellows Experiment)—পাস্কালের নিয়মানুযায়ী তরলের ঘাতবৃদ্ধির ব্যবহারিক প্রয়োগ 'ঔদক হাপর' পরীক্ষাটিতে পরিলক্ষিত হয়। ঔদক হাপর একটি চামড়ার ব্যাগ, ইহার উপর এবং নীচ দুইটি কাঠের গোল চাকতির দ্বারা আবদ্ধ। নীচের চাকতিটির কাছে একটি পিতলের পার্শ্বনল সংযুক্ত। আবার ঐ পার্শ্বনলের সহিত একটি দীর্ঘ কাচের নল খাড়াভাবে অবস্থিত।



চিত্র 8G

পরীক্ষা আরম্ভ করিবার পূর্বে হাপর এবং নলের কিয়দংশ জলপূর্ণ করিয়া লও। জলপূর্ণ অবস্থায় হাপরটি ঢাকের আকৃতির ন্যায় দেখায় (8G চিত্র দেখ)। অতঃপর কাঠের চাকতির উপর ওজন চাপাও। দেখিতে পাইবে হাপরটি নীচের দিকে বসিয়া যায়। এমতাবস্থায় কাচের নলের মধ্যে আস্তে আস্তে জল ঢালিতে থাক। কিছুক্ষণ পরে দেখিতে পাইবে, হাপরটির উপর ওজন চাপানো থাকা সত্ত্বেও হাপরটি পূর্ব-আকার ধারণ করিয়াছে।

কাচনলটি যদি অধিক দীর্ঘ হয় তাহা হইলে কাচনলের মধ্যে দীর্ঘ জলস্তম্ভ হাপরের উপর একটি মানুষকেও ধারণ করিয়া রাখিতে পারে (চিত্র দ্রষ্টব্য)। কি করিয়া ইহা সম্ভব তাহা উদাহরণের সাহায্যে নিম্নে বুঝানো হইল।

মনে কর, উপরোক্ত সরু নলের মধ্যে জলস্তম্ভের দৈর্ঘ্য 200 cms. এবং কাঠের চাকতিটির বর্গক্ষেত্র 400 sq. cms.।

সুতরাং, এক্ষেত্রে হাপরের জলে জলস্তম্ভের প্রযুক্ত চাপ 200 gms. wt./sq. cm.

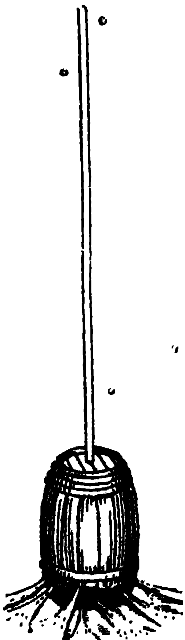
পাস্কালের নিয়মানুযায়ী কাঠের চাকতিটির উপর ঊর্ধ্ব-সঞ্চালিত চাপও 200 gms. wt./sq. cm.।

সুতরাং, চাকতিটির উপর মোট ঊর্ধ্বচাপ বা ঘাত $200 \times 400 = 80000$ gms. wt. অথবা 80 kgs. wt.।

কাজেই দেখা যাইতেছে, সরু নলটির মধ্যে 200 cms. দৈর্ঘ্যের জলস্তম্ভ 80 কিলোগ্রাম ভারসাম্য রক্ষা করিতে পারে। গড়পড়তায় একটি মানুষের ওজনও 80 কিলোগ্রামের অধিক নহে।

(ঘ) **পিপা-ফাটানোর পরীক্ষা** (Bursting of a cask)—ইহাও তরলের ঘাতবৃদ্ধির ব্যবহারিক প্রয়োগ সূচিত করে।

একটি পাতলা কাঠের পিপাকে জলদ্বারা সম্পূর্ণ ভর্তি কর। দেখিও পিপাটি যেন ফাটিয়া না যায়। এখন পিপাটির উপরের মুখের ঢাকনিটি ছিদ্র করিয়া একটি লম্বা নল খাড়াভাবে সংযুক্ত কর (8H চিত্রে দেখ)। অতঃপর নলটির মধ্য দিয়া জল ঢালিতে থাক। দেখিতে পাইবে নলের মধ্যে জল যখন একটি নির্দিষ্ট স্থানে পৌছায় তখন কাঠের পিপাটি নীচের দিকে ফাটিয়া যায়। এই পিপাটি ফাটিয়া যাওয়ার সঙ্গত কারণ নিম্নলিখিতভাবে বলা যাইতে পারে।


চিত্র 8H

যখন পিপাটি শুধু জলে ভর্তি থাকে তখন পিপাটির গায়ে প্রতি বর্গইঞ্চিতে জলের চাপ তেমন কিছু অধিক নহে। কিন্তু দীর্ঘ নলটিকে যখন জলপূর্ণ করা হয় তখন ঐ নলে জলের পরিমাণ কম হইলেও নলের অভ্যন্তরস্থ দীর্ঘ জলস্তম্ভটি পিপার অভ্যন্তরস্থ জলে প্রচণ্ড চাপের সৃষ্টি করে। এই প্রচণ্ড চাপ পিপার জলে সর্বত্র সমভাবে সঞ্চালিত হইয়া পিপাটিকে ফাটাইয়া দেয়। এই পিপা-ফাটানো পরীক্ষাটি পাস্কাল নিজেই সম্পাদন করিয়াছিলেন।

8·4. ঔদকূট (Hydrostatic paradox): উদস্থিতি-বিদ্যায় কতকগুলি ঘটনা আপাতদৃষ্টিতে আমাদের কাছে

অসম্ভব বলিয়া মনে হয়। কিন্তু ঐ ঘটনাগুলি ঘটিবার যখন প্রকৃত কারণ নির্দেশ করা হয় তখন দেখা যায় যে, ঐ সমস্ত ঘটনা ঘটিবার পিছনে সঙ্গত কারণ বর্তমান থাকে। এইরূপ ঘটনাগুলিই 'ঔদকূটের' অন্তর্ভুক্ত। এই হিসাবে ঔদক হাপর পরীক্ষা এবং পিপা-ফাটানোর পরীক্ষা ঔদকূটের প্রচলিত উদাহরণ হিসাবে গণ্য হইয়া থাকে। কারণ প্রথম ক্ষেত্রে একটি সরু নলের জল মানুষের ভারসাম্য রক্ষা করে। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে পিপাটি সম্পূর্ণ জলপূর্ণ করা সত্ত্বেও অক্ষত থাকে, অথচ উহার সহিত সংযুক্ত নলের মধ্যে সামান্য জল ঢালিলেই পিপাটি ফাটিয়া যায়। এই উভয় ঘটনাই আপাতদৃষ্টিতে অসম্ভব বলিয়া মনে হয়। কিন্তু আমরা যখন উহাদের কারণ নির্দেশ করি তখন দেখিতে পাই যে, পাস্কালের সূত্র অনুযায়ী তরলের ঘাতবৃদ্ধির নীতি প্রয়োগ করিয়া উভয় ঘটনাই সংঘটিত হয়।

সারাংশ

পাস্কালের সূত্র—কোন আবদ্ধ পাত্রে তরল রাখিয়া উহার উপর যে-কোনস্থানে চাপ প্রয়োগ করিলে ঐ চাপ তরলের মধ্য দিয়া সম-পরিমাণে সর্বদিকে সঞ্চালিত হয় এবং উহা আবদ্ধ পাত্রের গাত্রে লম্বভাবে ক্রিয়া করে। সছিদ্র রবার বলের সাহায্যে, বিভিন্নমুখী পিস্টন-সংযুক্ত কাচের গোলক ইত্যাদির সাহায্যে পাস্কাল সূত্রের সত্যতা নির্ণয় করা যায়। পাস্কালের সূত্র অনুযায়ী বদ্ধ তরলের উপর কোনস্থানে অল্প ঘাত প্রয়োগ করিয়া অন্যস্থানে অনেকগুণ বেশী ঘাত উৎপন্ন করিতে পারা যায়। ইহাকে তরলের ঘাতবৃদ্ধির মূলনীতি বলা হয়।

হাইড্রলিক প্রেস, হাইড্রলিক গ্যারেজ লিফ্‌ট্‌, ঔদক হাপর পরীক্ষা, পিপা-ফাটানোর পরীক্ষা প্রভৃতি তরলের ঘাতবৃদ্ধির ব্যবহারিক প্রয়োগ সূচিত করে।

প্রশ্নমালা

1. তরলের চাপ-সঞ্চালন সম্পর্কে পাস্কালের সূত্র বিবৃত কর এবং উপযুক্ত পরীক্ষার সাহায্যে এই সূত্রের যথার্থতা প্রমাণ কর। [State Pascal's Law for the transmission of liquid pressure and explain the truth of the law with the help of suitable experiments.]

2. রেখাচিত্রের সাহায্যে হাইড্রলিক প্রেসের বর্ণনা কর এবং উহার নীতি এবং কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। [Describe the principle and action of a hydraulic press, giving a sectional diagram.]

3. হাইড্রলিক গ্যারেজ লিফ্‌টের কার্যপদ্ধতি সহ বিবরণ দাও। [Describe and explain the working of a hydraulic garage lift.]

4. ঔদক হাপরের কার্যপদ্ধতি সহ বিবরণ দাও। [Describe and explain the working of Hydrostatic Bellows.]

5. পিপা-ফাটানোর পরীক্ষা বর্ণনা কর এবং এই পরীক্ষাটি কি প্রকারে ঔদকূটের উদাহরণস্বরূপ গণ্য করা যায় তাহা ব্যাখ্যা কর। [Describe the bursting of cask experiment and state in a simple way how this experiment serves as an example of hydrostatic paradox.]

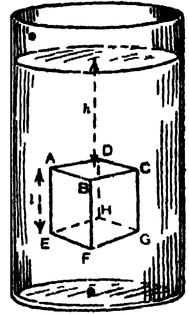
6. একটি হাইড্রলিক প্রেসের ছোট চোঙের পিস্টনের ব্যাস এক ইঞ্চি এবং বড চোঙের পিস্টনের ব্যাস আট ইঞ্চি। যদি ছোট চোঙের পিস্টনের উপর 120 পা. বল প্রয়োগ করা হয় তাহা হইলে বড় চোঙের পিস্টনের উপর কি পরিমাণ বল প্রযুক্ত হইবে যাহা নির্ণয় কর। (ঘর্ষণজনিত বাধা উপেক্ষা করা হইল।) [In a hydraulic press the small cylinder has a diameter of one inch, while the larger piston has diameter of 8 iches. If a force of 120 lbs. is applied to the small piston, what is the force on the larger piston, neglecting friction ?] [*Ans.* 7680 lbs.]

নবম পরিচ্ছেদ

ভাসমান বস্তু সম্পর্কে আলোচনা এবং আর্কিমিদিস-এর সূত্র

(Floatation of bodies and Archimedes' principle)

9·1. তরলে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত কোন বস্তুর উপর লব্ধি-ঘাতের (Resultant thrust) পরিমাণ নির্ণয় (Calculation of resultant thrust over a body wholly immersed in a liquid): 9A চিত্রে *ABCDEFGH* একটি কঠিন পদার্থের ঘনক দেখানো হইল। মনে কর, উহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা প্রত্যেকটিই l cm.। সুতরাং, ঘনকটির ছয়টি পৃষ্ঠের প্রত্যেকটি পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল l^2 sq. cm.। চিত্রে ঘনকটি একটি পাত্রের তরলের মধ্যে সম্পূর্ণভাবে নিমজ্জিত আছে এবং উহার উপরের তল *ABCD* 'h' cm. গভীরতায় ঐ তরলে নিমজ্জিত রহিয়াছে। তরলের ঘনত্ব d gm./c.c.।



চিত্র 9A

এখন আমরা ঘনকের প্রতিটি তলের উপর তরলের ঘাত নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় করি।

(1) ঘনকের বামপার্শ্বে তরলের ঘাত

= তরলের $\left(h+\frac{l}{2}\right)$ গভীরতায় তরলের চাপ × *ABFE* বর্গক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল

$=\left(h+\frac{l}{2}\right)\times dg\times l^2$ dynes (বাম হইতে ডান দিকে ক্রিয়া করে)।

(2) ঘনকের ডানপার্শ্বে তরলের ঘাত

= তরলের $\left(h+\frac{l}{2}\right)$ গভীরতায় তরলের চাপ × *DCGH* বর্গক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল

$=\left(h+\frac{l}{2}\right) dg\times l^2$ dynes (ডান হইতে বামদিকে ক্রিয়া করে)।

এক্ষেত্রে দেখা যাইতেছে এই দুইটি পার্শ্বঘাতের পরিমাণ সমান এবং ইহারা বিপরীতমুখী।

কাজেই, এই দুইটি পার্শ্বতলের লব্ধি-ঘাত শূন্য।

অনুরূপ যুক্তির দ্বারা দেখিতে পাই ঘনকটির সামনের এবং পিছনের তলের উপর তরলের লব্ধি-ঘাত শূন্য।

এখন (3) $ABCD$ তলের উপর তরলের ঘাত

$= h$ গভীরতায় তরলের চাপ $\times$ $ABCD$ বর্গক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল

$= hgd \times l^2$ dynes (নীচের দিকে ক্রিয়া করে)

এবং (4) $EFGH$ তলের উপর তরলের ঘাত

$= (h+l)$ গভীরতায় তরলের চাপ $\times$ $EFGH$ বর্গক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল

$= (h+l) \times gd \times l^2$ dynes (ঊর্ধ্বদিকে ক্রিয়া করে)।

সুতরাং, উপরের তল এবং নীচের তলের উপর তরলের লব্ধি-ঘাত (resultant thrust) $= (h+l)\,gdl^2 - hgdl^2$

$= l^3dg,$ (ঊর্ধ্বদিকে ক্রিয়া করে)

= ঘনকের সম-আয়তনের তরলের ওজন (ইহা ঊর্ধ্বদিকে ক্রিয়া করে)।

সুতরাং, আমরা দেখিতে পাই, ঘনকটি যখন তরলে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত থাকে, তখন উহার উপর তরলের লব্ধি-ঘাত উপরের দিকে ক্রিয়া করে এবং ঐ ঘাতের পরিমাণ ঘনকটির সমান আয়তন তরলের ওজনের সমান।

যদিও উপরোক্ত সত্যটি একটি ঘনকের সাহায্যে প্রমাণিত হইয়াছে, কিন্তু মনে রাখিতে হইবে, **যে-কোন আকারের কঠিন পদার্থই আমরা ধরি না কেন, উহাকে তরলের মধ্যে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত করিলে উহার উপর তরলের ঊর্ধ্বমুখী লব্ধি-ঘাত বস্তুটির সমান আয়তন তরলের ওজনের সমান।**

আবার যদিও আমরা বস্তুর উপরে তরলের লব্ধি-ঘাত বস্তুটিকে তরলের সম্পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায় নির্ণয় করিয়াছি কিন্তু স্মরণ রাখিতে হইবে, **যে-কোন কঠিন পদার্থ যদি আংশিকভাবেও নিমজ্জিত থাকে, তাহা হইলে উপরোক্ত নিয়মে বস্তুটির উপর তরলের ঊর্ধ্বঘাত বস্তুটির নিমজ্জিত অংশের সম-আয়তন তরলের ওজনের সমান।**

9·2. প্লবতা এবং প্লবতা-কেন্দ্র (Buoyancy and centre of Buoyancy): কোন বস্তু সম্পূর্ণভাবে বা আংশিকভাবে তরলে নিমজ্জিত হইলে ঐ বস্তুর উপর তরলের যে ঊর্ধ্বঘাত প্রযুক্ত হয় উহাকে তরলের প্লবতা (Buoyancy) বলে ; এবং এই ঊর্ধ্বঘাত অপসারিত তরলের একটি নির্দিষ্ট বিন্দুর মধ্য দিয়া ক্রিয়া করে। এই নির্দিষ্ট বিন্দুকে বলা হয় প্লবতা-কেন্দ্র (Centre of Buoyancy)।

9·3. তরলের মধ্যে পূর্ণ বা আংশিক নিমজ্জিত বস্তুর আপাত-ওজনহ্রাস (Apparent loss of weight of a body wholly or partially immersed in a liquid): 9·1 অনুচ্ছেদে আমরা দেখিয়াছি

কোন বস্তু তরলে পূর্ণ বা আংশিক নিমজ্জিত থাকিলে উহার উপর তরলের ঊর্ধ্বঘাত (upward thrust) প্রযুক্ত হয়। এই ঊর্ধ্বঘাতকেই আমরা বলিয়া থাকি তরলের প্লবতা।

আমরা জানি কোন বস্তুর ওজন নীচের দিকে ক্রিয়া করে। কিন্তু নিমজ্জিত বস্তুর উপর তরলের প্লবতা ঊর্ধ্বদিকে ক্রিয়া করে। সুতরাং বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস (apparent loss in weight) হয়।

এই কারণে আমরা বলিয়া থাকি কোন বস্তু তরলে পূর্ণ বা আংশিক নিমজ্জিত থাকিলে উহার ওজনের আপাত-হ্রাস হইয়া থাকে।

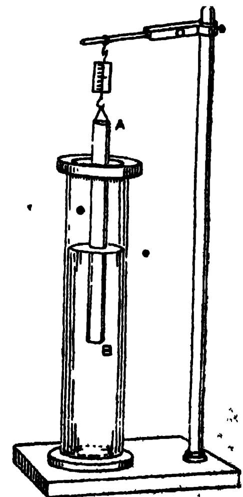
পূর্ণ বা আংশিক নিমজ্জিত বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাসের পরীক্ষা—(Experiment to demonstrate the apparent loss in weight of a body when immersed either wholly or partly in a liquid.)

(1) সাধারণ অভিজ্ঞতায় দেখা যায় একটি জলপূর্ণ কলসী একস্থান হইতে অন্যস্থানে সরাইতে বিশেষ কষ্ট হয়। কিন্তু ঐ জলপূর্ণ কলসীটিকে পুকুরের মধ্যে একস্থান হইতে অন্যস্থানে অতি সহজেই সরাইয়া লইতে পারা যায়।

ইহার একমাত্র কারণ, ঐ জলপূর্ণ কলসীটি যখন পুকুরের জলে আংশিক বা পূর্ণ নিমজ্জিত থাকে তখন জলের প্লবতা-গুণের জন্য জলপূর্ণ কলসীটির আপাত-ওজন হ্রাস হয়। সুতরাং কলসীটিকে পুকুরের মধ্যে একস্থান হইতে অন্যস্থানে সহজেই সরানো যায়।

(2) **স্প্রিং-তুলার সাহায্যে পরীক্ষা** (Experiment with Spring-balance)—9B চিত্রে একটি Spring-balance দেখানো হইয়াছে। উহার নীচের আঙটার সহিত একটি পিতলের নিরেট চোঙ *AB* ঝুলানো আছে। Spring-balance-এর পাঠ দেখিয়া চোঙটির ওজন লিখিয়া রাখ।

অতঃপর একটি লম্বা কাচের পাত্রে জল রাখিয়া চোঙটিকে আস্তে আস্তে জলের মধ্যে ডুবাইতে থাক। দেখিতে পাইবে চোঙটিকে যতই জলের মধ্যে ডুবানো যায় স্প্রিং-তুলার পাঠ ততই কমিতে থাকে অর্থাৎ চোঙটির আপাত-ওজন কমিতে থাকে। এইরূপে চোঙটিকে যখন সম্পূর্ণরূপে জলে নিমজ্জিত করা হয় তখন চোঙটির ওজনের হ্রাস সর্বাপেক্ষা বেশী হয়। চোঙটিকে জল হইতে তুলিয়া লইলে উহার পূর্ব ওজন ফিরিয়া আসে।



চিত্র 9B

উপরোক্ত পরীক্ষা দ্বারা আমরা এই সিদ্ধান্তে উপনীত

হই যে কোন বস্তু তরলে আংশিক বা পূর্ণ নিমজ্জিত থাকিলে উহার ওজনের আপাত-হ্রাস (apparent loss in weight) হয়।

9·4. কোন বস্তুর তরলে ভাসন বা নিমজ্জনের সাধারণ আলোচনা (General discussions of immersion or floatation of a body): পূর্বেই আলোচিত হইয়াছে যে কোন বস্তু তরলে আংশিক বা পূর্ণ নিমজ্জিত থাকিলে উহার উপর ঊর্ধ্বমুখে তরলের ঘাত প্রযুক্ত হয়। ইহাকে তরলের প্লবতা (Buoyancy of liquid) বলে। এই ঘাতের পরিমাণ বস্তুর নিমজ্জিত অংশের দ্বারা অপসারিত তরলের ওজনের সমান।

সুতরাং, যখন কোন বস্তুকে তরলে রাখা হয় তখন উহার উপর দুইটি বল ক্রিয়া করে। প্রথমটি হইল বস্তুর ওজন (W) উহা বস্তুর ভারকেন্দ্রের (centre of gravity) মধ্য দিয়া লম্বভাবে নীচের দিকে (vertically downward) ক্রিয়া করে। অপরটি হইল তরলের প্লবতা (W')। উহা ঊর্ধ্বমুখে প্লবতা-কেন্দ্র (Centre of Buoyancy) দিয়া নিমজ্জিত বস্তুর উপর লম্বভাবে উপরদিকে ক্রিয়া করে।

সুতরাং উপরিউক্ত বিবেচনা হইতে আমরা দেখিতে পাই কোন বস্তু তরলে রাখিলে নিম্নলিখিত তিনটি অবস্থার যে-কোন একটির উদ্ভব হইতে পারে।

(1) **বস্তুটি তরলে ডুবিয়া যাইতে পারে**—যখন ইহা ঘটে তখন বুঝিতে হইবে, বস্তুটি তরলে সম্পূর্ণভাবে নিমজ্জিত থাকিলে উহার উপর তরলের ঊর্ধ্বমুখী যে ঘাত প্রযুক্ত হইত, তাহার পরিমাণ বস্তুর ওজন অপেক্ষা কম।

অর্থাৎ একটি বস্তু তরলে তখনই ডুবিয়া যাইবে যখন ইহার ওজন (W) বস্তুর সম-আয়তন তরলের ওজন (W') অপেক্ষা অধিক।

(2) **বস্তুটি তরলে ভাসিতে পারে**—ইহার দ্বারা আমরা এই বুঝিব যে বস্তুটি তরলে আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় স্থিরভাবে ভাসিয়া থাকিবে। অর্থাৎ যখন ইহা ঘটে তখন বুঝিতে হইবে বস্তুটি তরলে সম্পূর্ণভাবে নিমজ্জিত থাকিলে উহার উপর তরলের যে ঊর্ধ্বমুখী ঘাত প্রযুক্ত হইত তাহার পরিমাণ বস্তুর ওজন অপেক্ষা অধিক। অর্থাৎ একটি বস্তু তরলে তখনই ভাসিয়া থাকিবে যখন ইহার ওজন (W) বস্তুর সম-আয়তন তরলের (W') ওজন অপেক্ষা কম।

(3) **বস্তুটি তরলে কেবলমাত্র ভাসিয়া থাকিতে পারে অথবা কেবলমাত্র ডুবিয়া থাকিতে পারে** (Just floating or just sinking)—কোন বস্তুর তরলে কেবলমাত্র ভাসিয়া থাকা অথবা কেবলমাত্র ডুবিয়া থাকা এই উক্তি দুইটির মধ্যে বিশেষ পার্থক্য নাই।

বস্তুটি তরলে কেবলমাত্র ভাসিয়া থাকে বলিতে ইহাই বুঝিবে যে বস্তুটি তরলের

উপরের তল স্পর্শ করিয়া নিমজ্জিত অবস্থায় স্থিরভাবে ভাসিয়া থাকে। আবার বস্তুটি তরলে কেবলমাত্র ডুবিয়া থাকে বলিতে ইহাই বুঝিবে যে বস্তুটিকে তরলের মধ্যে যে-কোনস্থানেই নিমজ্জিত করা হোক না কেন উহা সেইখানেই স্থির অবস্থায় থাকে।

সুতরাং বস্তুটি যখন তরলে কেবলমাত্র ভাসিয়া থাকে বা কেবলমাত্র ডুবিয়া থাকে তখন বস্তুটির ওজন (W) উহার সম-আয়তন তরলের ওজন (W') এর সমান।

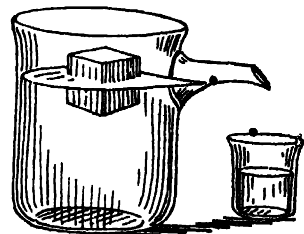
9·5. তরলে বস্তু ভাসিয়া থাকার শর্তাবলী (Conditions of floatation of a body): একটি বস্তু তরলে আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় সহজভাবে ভাসিয়া থাকিতে হইলে নিম্নলিখিত তিনটি শর্ত পূরণ করা প্রয়োজন:

(1) বস্তুর ওজন তাহার সম-আয়তন তরলের ওজন অপেক্ষা কম।

(2) বস্তুর ওজন তরলে বস্তুর নিমজ্জিত অংশ দ্বারা অপসারিত তরলের ওজনের সমান।

(3) বস্তুর ভারকেন্দ্র এবং উহার আংশিক নিমজ্জন-প্রসূত তরলের প্লবতা-কেন্দ্র একই উল্লম্ব রেখায় অবস্থিত (on the same vertical line)।

ভাসমান বস্তুর 2নং শর্তের সহজ পরীক্ষা- 9C চিত্রে পার্শ্বনল-সংযুক্ত একটি বড় মুখওয়ালা কাচের বীকার দেখানো হইয়াছে। ঐ পাত্রটির পার্শ্বনল পর্যন্ত জলপূর্ণ কর। একটুকরা হাল্কা বস্তু লও এবং ইহার ওজন পূর্বাহ্ণে তুলার দ্বারা মাপিয়া রাখ। অতঃপর বস্তুটিকে ঐ কাচের পাত্রের জলের মধ্যে ভাসাও। বস্তুটির যে অংশ জলে নিমজ্জিত হইবে উহার আয়তনের জল পার্শ্বনল দিয়া বাহির হইয়া আসিবে।



চিত্র 9C

ঐ জল একটি বীকারে সংগ্রহ কর। অতঃপর ঐ সংগৃহীত জলের ওজন লও। দেখিতে পাইবে বস্তুটির ওজন এবং সংগৃহীত জলের ওজন একই।

কাজেই এই পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইল বস্তুর ওজন এবং বস্তুর নিমজ্জিত অংশদ্বারা অপসারিত তরলের ওজন সমান।

9·6. ভাসনের মূলনীতিদৃষ্টে কয়েকটি ব্যবহারিক উদাহরণ (Some practical illustrations regarding principle of floatation):

(1) **'বরফ জলে ভাসে'—ইহার কারণ কি?**

বরফ জলে ভাসার কারণ আমরা নিম্নলিখিতভাবে ব্যাখ্যা করিতে পারি:

আমরা জানি বরফ কঠিন পদার্থ হইলেও উহার ঘনত্ব জলের ঘনত্ব অপেক্ষা কম।

সুতরাং, একখণ্ড বরফকে জলে পুরাপুরি নিমজ্জিত অবস্থায় রাখিলে উহার ওজন সম-আয়তন জলের ওজন অপেক্ষা কম হইবে। কাজেই আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় বরফ জলে ভাসিবে। যেহেতু জলের ঘনত্বের তুলনায় বরফের ঘনত্ব $\frac{11}{12}$, সুতরাং, একখণ্ড বরফ তাহার আয়তনের $\frac{11}{12}$ অংশ জলে নিমজ্জিত থাকিয়া ভাসিবে।

(2) 'একখণ্ড নিরেট লোহা জলে ডোবে, কিন্তু একটি লোহার কড়াই বা লোহার তৈয়ারী জাহাজ জলে ভাসে' ইহার কারণ কি?

লোহার টুকরা জলে ডোবার কারণ এই যে উহাকে জলের মধ্যে পূর্ণভাবে নিমজ্জিত করিলে যে পরিমাণ জল অপসারিত হয় তাহার ওজন লোহার টুকরার ওজন অপেক্ষা কম। কাজেই একখণ্ড লোহা জলে ডুবিয়া যায়।

কিন্তু লোহার কড়াইয়ের বাহিরের পিঠ এমন আকারের যে উহাকে খাড়াভাবে জলে ডুবাইতে গেলে যে আয়তনের জল অপসারিত হয় তাহার ওজন লোহার কড়াইয়ের ওজন অপেক্ষা বেশী। সুতরাং, আমরা দেখিতে পাই লোহার কড়াই আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসিয়া থাকিতে পারে। কিন্তু মনে রাখিতে হইবে যদি লোহার কড়াইকে কাত করিয়া জলে ডোবানো হয় তাহা হইলে উহা ভাসিতে পারে না। উহা জলে ডুবিয়া যায়।

অনুরূপ কারণে লোহার তৈয়ারী জাহাজ আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় জলে ভাসিয়া থাকিতে পারে। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য যে সমুদ্রের জলের ঘনত্ব নদীর জলের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশী। এই কারণে একটি ভাসমান জাহাজ সমুদ্রের জল অপেক্ষা নদীর জলে অধিক নিমজ্জিত থাকে।

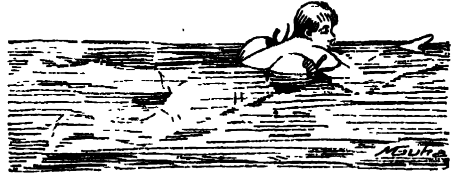
(3) 'একখণ্ড নিরেট লোহা জলে ডোবে, কিন্তু উপযুক্ত আয়তনের একখণ্ড শোলা উহার সহিত বাঁধিয়া দিলে উহা জলে ভাসিয়া থাকিতে পারে'—এইরূপ হওয়ার কারণ কি?

এক্ষেত্রে শোলাসহ লৌহটুকরাটিকে আমরা একটি সামগ্রিক বস্তু হিসাবে ধরিতে পারি। সুতরাং, ঐ সমগ্র বস্তুকে যখন জলে ডুবাইয়া ধরা হয় তখন অপসারিত জলের ওজন শোলা সমেত লৌহটুকরাটির সামগ্রিক ওজন অপেক্ষা অধিক। সুতরাং, উহা আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় জলে ভাসিয়া থাকিতে পারে।

অনুরূপ কারণে জাহাজ দুর্ঘটনার সময় কর্কজাতীয় হাল্‌কা পদার্থের তৈয়ারী জীবনরক্ষা-বয়ার (Life-buoy) সাহায্যে জাহাজের আরোহিগণ সমুদ্রের জলে ভাসিয়া থাকিয়া জীবন রক্ষা করিতে পারেন।

(4) সাঁতার-কাটা (Swimming)—সাঁতার-কাটা মানুষের পক্ষে একটি অর্জিত কৌশল। কারণ মানুষের ওজন যদিও তাহার সমান আয়তন জলের ওজন অপেক্ষা কম

কিন্তু সর্ব অঙ্গের তুলনায় মানুষের মাথা অনেক ভারী। ফলে যদিও ভাসন-নীতি অনুযায়ী মানুষ জলে আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসিয়া থাকিতে পারে, কিন্তু উহার মাথাটি অপেক্ষাকৃত ভারী হওয়ার জন্য দেহটি ভাসিয়া থাকিলেও মাথাটি জলে ডুবিয়া যায়। সুতরাং, মানুষকে কি করিয়া জলের উপর মাথাটি ঊর্ধ্বে রাখিয়া আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় জলে ভাসিয়া থাকিতে পারে কিংবা জলের মধ্যে একস্থান হইতে অন্যস্থানে যাইতে পারে এই কৌশল অর্জন করিতে হয়। এই কৌশল অর্জন করিবার সময় অনেক সময় পল্লীগ্রামে দেখা যায়—শিশুরা দুইটি ঝুনো নারিকেলের সাহায্যে দেহকে কৃত্রিম উপায়ে সামগ্রিকভাবে হাল্‌কা করিয়া প্রথম অবস্থায় সাঁতার শিক্ষা করে (চিত্র 9D)। কারণ ঝুনো নারিকেল জল অপেক্ষা অনেক হাল্‌কা।



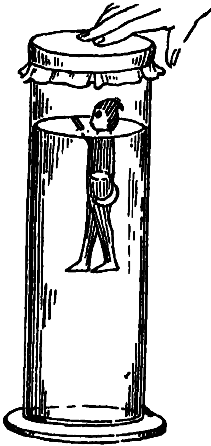
চিত্র 9D

কুকুর, বিড়াল, গরু প্রভৃতি চতুষ্পদ জন্তুর পক্ষে সাঁতার-কাটা একটি অর্জিত কৌশল নহে। ইহার কারণ চতুষ্পদ জন্তুদের মাথার ওজন উহার পিছনের অংশের ওজনের তুলনায় অনেক কম। সুতরাং, চতুষ্পদ জন্তুরা যখন আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় জলে ভাসিয়া থাকে তখন স্বাভাবিক নিয়মেই উহাদের মাথা জলের উপরে থাকে। সুতরাং, তাহারা চারিটি পা নাড়িয়া সহজেই জলের মধ্যে একস্থান হইতে অন্যস্থানে যাইয়া থাকে।

(4) **কার্টেজীয় ডুবুরি** (Cartesian Diver)—ইহা ডেকার্ট-এর (Descartes) উদ্ভাবিত একটি উদস্থৈতিক খেলনা (Hydrostatic toy)। ইহার সাহায্যে বিভিন্ন পরীক্ষা করা যায়। ডুবুরিটি গাটা-পারচার (Gutta-percha) অথবা পাতলা কাচের তৈয়ারী একটি ফাঁপা পুতুল। পুতুলটির একটি ফাঁপা লেজ আছে এবং লেজের প্রান্তে একটি ছিদ্র আছে। এই ছিদ্রটির সাহায্যে বাহিরের সহিত পুতুলের ভিতরের সংযোগ রক্ষিত হয়। পরীক্ষা করিবার সময় পুতুলটির নীচের অংশ উপযুক্ত পরিমাণ জল দ্বারা ভর্তি করা হয় এবং উপরের বাকী অংশ বায়ুপূর্ণ থাকে। ইহার ফলে পুতুলটিকে একটি জলপূর্ণ পাত্রের মধ্যে ছাড়িয়া দিলে উহা আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় খাড়াভাবে ভাসিয়া থাকিতে পারে।

9E চিত্র অনুযায়ী আমরা দেখিতে পাই যে পুতুলটি একটি লম্বা কাচের পাত্রের (tall glass jar) জলের মধ্যে আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় খাড়াভাবে ভাসিয়া আছে এবং ঐ কাচপাত্রটির মুখ একটুকরা রবারের চাদর দ্বারা শক্তভাবে আটকাইয়া দিয়া

বায়ুরোধক করা হইয়াছে। এমতাবস্থায় রবারের ঢাক্‌নার উপর আঙ্গুল দিয়া চাপ দিলে আমরা দেখিতে পাই রবারের ঢাক্‌নাটি নীচের দিকে বসিয়া যায় এবং পুতুলটি আস্তে আস্তে জলের নীচে ডুবিতে থাকে। যখন আঙ্গুল সরাইয়া চাপমুক্ত করা হয় তখন দেখা যায় রবারের ঢাক্‌নাটি পুনরায় পূর্বের অবস্থায় ফিরিয়া আসে এবং পুতুলটি আবার আস্তে আস্তে উপরে উঠিয়া আগের মতো আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় পাত্রে ভাসিয়া থাকে।



চিত্র 9E

কার্টেজীয় পরীক্ষার ব্যাখ্যা—রবারের ঢাক্‌নার উপর আঙ্গুল দিয়া চাপ দেওয়ায় পাত্রের অভ্যন্তরস্থ বায়ু সংকুচিত হয় এবং উহার চাপ বৃদ্ধি পায়। পাস্কালের নিয়মানুযায়ী এই বর্ধিত চাপ বায়ুর মধ্য দিয়া সঞ্চালিত হইয়া অপরিবর্তিত হারে পাত্রের জলের মধ্যে সঞ্চালিত হয়। এই সঞ্চালিত চাপ পুতুলটির লেজের ছিদ্রের সাহায্যে উহার অভ্যন্তরস্থ বায়ুর উপর ক্রিয়া করে। ফলে অভ্যন্তরস্থ বায়ু সংকুচিত হয় এবং ঐ ছিদ্র দিয়া পুতুলটির মধ্যে বাহিরের জল প্রবেশ করে। ইহাতে পুতুলটির ওজন বৃদ্ধি পায়, কিন্তু পুতুলটির আয়তন একই থাকায় পুতুলটি ভাসন-নীতি অনুসারে ডুবিতে থাকে।

অতঃপর রবারের ঢাক্‌না হইতে আঙ্গুল সরাইয়া যখন বায়ু-চাপ মুক্ত করা হয় তখন পুতুলে যে পরিমাণ জল প্রবেশ করিয়াছিল সেই পরিমাণ জল পুতুলের লেজের ছিদ্র দিয়া বাহির হইয়া আসে এবং পুতুলটি হাল্‌কা হওয়ায় পূর্বের ন্যায় আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসিতে থাকে। যদি রবারের ঢাক্‌নার উপর চাপ এইরূপভাবে নিয়ন্ত্রণ করা যায় যে পুতুলটির মধ্যে জল প্রবেশ করিয়া উহার সামগ্রিক ওজন পুতুলটির সম-আয়তন জলের ওজনের সমান হইয়া যায় তখন দেখা যায় যে পুতুলটি জলের মধ্যে সম্পূর্ণ ডুবিয়া স্থির অবস্থায় থাকে।

এই কার্টেজীয় পরীক্ষার সাহায্যে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি বুঝানো হইয়াছে :

(ক) বায়ু এবং বায়ুজাতীয় পদার্থ (Gas) সংনম্য।

(খ) পাস্কালের চাপ-সঞ্চালন নীতি তরল এবং গ্যাসে সমভাবে প্রযোজ্য।

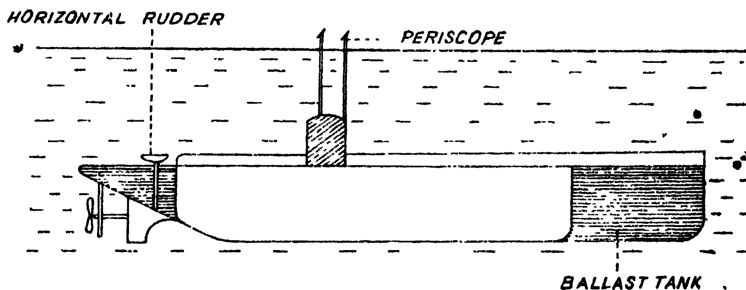
এবং (গ) ভাসন ও নিমজ্জনের শর্তগুলির পরীক্ষামূলক ব্যাখ্যা।

(5) **মাছের জলে ভাসা এবং ডোবা**—মাছ জলে ভাসে, জলে ডুবিয়া থাকে এবং ডুবন্ত অবস্থায় জলে সহজভাবে চলাফেরা করে। ইহার কারণ কি? ইহার কারণ অনুসন্ধান করিলে আমরা দেখিতে পাই যে, মাছ একটি জীবন্ত কার্টেজীয় ডুবুরি। মাছের মেরুদণ্ডের নীচে একটি বায়ুপূর্ণ থলি (Swimming Bladder) থাকে।

মাছ নিজের ইচ্ছামত এই থলিটিকে সংকুচিত বা প্রসারিত করিতে পারে। মাছ যখন তাহার এই থলিটি ফুলাইয়া প্রসারিত করে তখন অপসারিত জলের ওজনের অপেক্ষা তাহার ওজন কম হয়। ফলে সে জলের উপরে ভাসিয়া উঠিতে পারে। আবার যখন সে থলিটি সংকুচিত করে তখন তাহার ওজন অপসারিত জলের ওজন অপেক্ষা বেশী হয়। ফলে সে ডুবিয়া যাইতে পারে। আবার সে থলিটিকে স্বাভাবিক অবস্থায় রাখিয়া পাখনার (fins) সাহায্যে ডুবন্ত অবস্থায় জলে সহজভাবেই চলাফেরা করিতে পারে।

(6) **ডুবোজাহাজ** (Submarine)—ডুবোজাহাজের কার্যপ্রণালীদৃষ্টে আমরা বলিতে পারি ইহা একটি যান্ত্রিক কার্টেজীয় ডুবুরি। প্রয়োজনমত ইহার ওজন কমাইয়া এবং বাড়াইয়া ইহাকে সমুদ্রের জলে ভাসানো এবং ডোবানো সম্ভব। জলে ডুবন্ত অবস্থায় ইলেকট্রিক মোটরের সাহায্যে ইহাকে চালানো হয় এবং জলে ভাসমান অবস্থায় ইহা সাধারণত ডিসেল্ ইঞ্জিনের সাহায্যে চালিত হয়।

9F চিত্রে ডুবোজাহাজের একটি সহজ রেখাচিত্র দেখানো হইল। চিত্র অনুযায়ী আমরা দেখিতে পাই, ডুবোজাহাজের সামনে, মধ্যে এবং পিছনে কতকগুলি



চিত্র 9F

Valve-সংযুক্ত প্রকোষ্ঠ আছে। এই প্রকোষ্ঠগুলিকে ইংরাজীতে বলা হয় Ballast tank (অর্থাৎ ভারকক্ষ)। এই প্রকোষ্ঠগুলিকে প্রয়োজনমত বায়ুপূর্ণ এবং জলপূর্ণ করিতে পারা যায়।

যখন জাহাজকে জলের তলে ডুবাইতে হয় তখন এই tank-গুলিকে জলপূর্ণ করিয়া ভারী করিয়া লওয়া হয়। আবার ঐ জাহাজকে যখন জলের উপর ভাসানো প্রয়োজন হয় তখন শক্তিশালী পাম্পের সাহায্যে ঐ tank-গুলি জলশূন্য করিয়া বায়ুপূর্ণ করা হয়। জাহাজের উপরপৃষ্ঠে পেরিস্কোপ (Periscope) নামক একটি যন্ত্র লম্বভাবে সংযুক্ত থাকে। ইহার ফলে জাহাজটির জলে ডুবন্ত থাকাকালীন জলের উপরে শত্রু-জাহাজ ইত্যাদির গতিবিধি লক্ষ্য করিতে পারা যায়। জলের উপর চলিতে চলিতে ডুবোজাহাজটির হঠাৎ জলের তলায় যাওয়ার প্রয়োজন হইলে ইহার অগ্রভাগে

অবস্থিত অনুভূমিক হালের (Horizontal-rudder) সাহায্যে জাহাজটিকে সামনের দিকে ঝুঁকাইয়া দিয়া অনতিবিলম্বেই ইহাকে জলের তলায় ডোবানো যায়।

9·7. আর্কিমিদিস-এর সূত্র (Archimedes' principle): **কোন বস্তু তরলে নিমজ্জিত হইলে (আংশিক বা পূর্ণ) আপাতদৃষ্টিতে ঐ বস্তুর ওজনের হ্রাস হয়। বস্তুর ওজনের এই আপাত-হ্রাসের পরিমাণ নিমজ্জিত অংশ দ্বারা অপসারিত তরলের ওজনের সমান—অর্থাৎ নিমজ্জিত অংশের সম-আয়তন তরলের ওজনের সমান।**

উপরোক্ত নিয়ম বিখ্যাত বৈজ্ঞানিক আর্কিমিদিস আবিষ্কার করিয়াছিলেন বলিয়া ইহাকে **'আর্কিমিদিস-সূত্র'** বলা হয়। স্মরণ রাখিতে হইবে এই সূত্র তরল এবং গ্যাস উভয় ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য।



আর্কিমিদিস

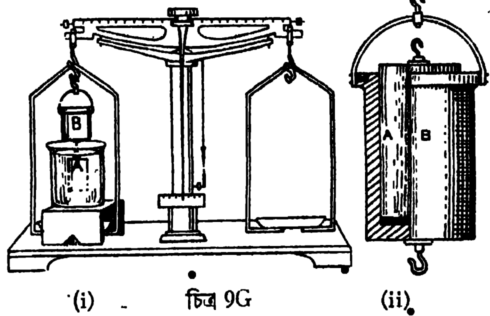
আর্কিমিদিস-এর উপরোক্ত সূত্র উদ্ভাবন সম্পর্কে একটি সুন্দর গল্প প্রচলিত আছে। সিসিলির অন্তর্গত সিরাকুস নগরের রাজা হিয়ারো (Hiero) একবার একটি সোনার মুকুট তৈয়ারী করাইয়াছিলেন। কিন্তু রাজার মনে সন্দেহ হইল মুকুটটি যেন খাঁটি সোনার নহে। উহার মধ্যে কিছু রূপার খাদ আছে। তাই তিনি তাঁহার দার্শনিক বন্ধু আর্কিমিদিসকে ডাকিয়া মুকুটটি খাঁটি সোনার দ্বারা নির্মিত কিনা মুকুটটি না ভাঙ্গিয়া তাহা পরীক্ষা করিতে অনুরোধ করিলেন। আর্কিমিদিস মহা সমস্যায় পড়িলেন। মুকুটটি না ভাঙ্গিয়া কিরূপে ইহার বিশুদ্ধতা পরীক্ষা সম্ভব? আর্কিমিদিস অনেক চিন্তা করিয়াও কিছুই সিদ্ধান্ত করিতে পারিলেন না। এই অবস্থায় একদিন তিনি জলপূর্ণ চৌবাচ্চায় স্নান করিতে নামিয়া হঠাৎ লক্ষ্য করিলেন যে, চৌবাচ্চাটিতে নামামাত্র কিছু জল চৌবাচ্চা হইতে নীচে পড়িয়া গেল এবং তিনি যেন জলের মধ্যে কিছু হাল্কা বোধ করিলেন। তখন তাঁহার মাথায় খেলিয়া গেল যে কোন বস্তুকেও জলে ডুবাইলে তাহার আয়তনের সমান জল অপসারিত হয় এবং বস্তু অপেক্ষাকৃত হাল্কা হয়। এই সত্য উপলব্ধি করিতে পারিয়া তিনি ঐ সময় আনন্দে এতই বাহ্যজ্ঞানশূন্য হইয়াছিলেন যে সেই অবস্থাতেই রাস্তা দিয়া 'ইউরেকা,' 'ইউরেকা' (অর্থাৎ 'আমি পাইয়াছি', 'আমি পাইয়াছি') বলিয়া চীৎকার করিতে করিতে রাজসমীপে উপস্থিত হইলেন এবং নিম্নলিখিতভাবে ঐ কঠিন সমস্যার সমাধান করিয়া ফেলিলেন।

মুকুটটি একটি জলপূর্ণ পাত্রের মধ্যে ডুবাইলে যে আয়তনের জল পড়িয়া যায় উহাই হইল মুকুটটির আয়তন। ঐ আয়তনের খাঁটি সোনা ওজন করিয়া তিনি দেখিলেন যে উহার ওজন মুকুটের ওজন অপেক্ষা অনেক বেশী হয়। তখন তিনি রাজাকে জানাইয়া দিলেন যে মুকুটটি খাঁটি সোনার তৈয়ারী নহে।

আর্কিমিদিস-সূত্রের গাণিতিক প্রমাণ (Theoretical proof)— আমরা জানি কোন বস্তুকে তরলে পুরাপুরি অথবা আংশিক নিমজ্জিত করিলে ঐ বস্তুর উপর তরলের ঘাত ঊর্ধ্বমুখে ক্রিয়া করে এবং এই ঘাতের পরিমাণ অপসারিত তরলের ওজনের সমান (9·1 অনুচ্ছেদ দেখ)।

আবার আমরা জানি পৃথিবী প্রত্যেক বস্তুকেই তাহার কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে এবং বস্তুর উপর পৃথিবীর এই আকর্ষণজনিত বল অর্থাৎ বস্তুর ওজন সকল সময়ই নিম্নদিকে ক্রিয়া করে। সুতরাং, তরলে নিমজ্জিত কোন বস্তুর উপর দুইটি বিভিন্নমুখী বল (যথা—উহার ওজন এবং তরলের ঊর্ধ্বঘাত) যুগপৎ ক্রিয়া করার ফলে তরলে নিমজ্জিত বস্তুর ওজন আপাতদৃষ্টিতে হ্রাস হয় এবং এই হ্রাসের পরিমাণ অপসারিত তরলের ওজনের সমান। কাজেই আমরা দেখিতে পাই, তরলে নিমজ্জিত বস্তুর ক্ষেত্রে আর্কিমিদিস-এর সূত্রের যথার্থতা প্রমাণিত হইয়া থাকে।

আর্কিমিদিস-সূত্রের পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ (Experimental verification) **বালতি এবং চোঙের সাহায্যে** (Bucket and Cylinder method)— 9G (ii) চিত্রে B একটি চোঙ-আকৃতি বালতি (Cylindrical bucket) এবং A একটি নিরেট চোঙ দেখানো হইয়াছে। এই নিরেট চোঙটির আয়তন বালতির অভ্যন্তরস্থ আয়তনের সমান, অর্থাৎ নিরেট চোঙটি বালতির মধ্যে পুরাপুরি আঁটিয়া বসিতে পারে।



(i) চিত্র 9G (ii)

পরীক্ষা ঃ তুলাদণ্ডের বাম প্রান্তে বালতি (B) এবং ঐ বালতির নীচের দিকের আঙটার সহিত নিরেট চোঙ (A) ঝুলাও (9G (i) চিত্র দ্রষ্টব্য) এবং তুলার ডান পাল্লায় উপযুক্ত পরিমাণ ওজন চাপাইয়া তুলাদণ্ডটিকে ভারসাম্য করিয়া লও। এইরূপ করার ফলে তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক হইবে।

এখন আংশিক জলপূর্ণ একটি কাচের পাত্রকে (beaker) একটি কাঠের সেতুর (bridge) উপর এমনভাবে রাখ যাহাতে A চোঙটি কাচের পাত্রের গা স্পর্শ না করিয়া

পাত্রস্থ জলে সম্পূর্ণরূপে ডুবিয়া যায় (9G (i) চিত্র দেখ)। এমতাবস্থায় দেখিতে পাইবে তুলাদণ্ডের ভারসাম্য নষ্ট হইয়াছে এবং উহা ডানদিকে হেলিয়া গিয়াছে। ইহার দ্বারা আমরা বুঝিতে পারি চোঙটি জলে নিমজ্জিত হওয়ায় উহার ওজনের হ্রাস হইয়াছে। এখন একটি পিপেটের (pipette) সাহায্যে B বালতির মধ্যে খুব সতর্কতার সহিত জল ঢালো। বালতিটি যখন জলে পূর্ণ হয় তখন দেখিতে পাইবে তুলাদণ্ডটি পুনরায় অনুভূমিক অবস্থায় আসিয়াছে এবং ভারসাম্য প্রতিষ্ঠিত হইয়াছে।

কাজেই এই পরীক্ষা দ্বারা নিঃসন্দেহে প্রমাণিত হইল যে নিরেট চোঙটি জলে ডোবানো অবস্থায় উহার যে আপাত-ওজনের হ্রাস হয় তাহার পরিমাণ চোঙটির সম-আয়তন জলের ওজনের সমান। সুতরাং, এই পরীক্ষাটি দ্বারা আর্কিমিদিস-এর সূত্রের যথার্থতা প্রমাণিত হইল।

9·8. আর্কিমিদিস-সূত্রের প্রয়োগ (Application of Archimedes' principle): আর্কিমিদিস-সূত্রের সাহায্যে আমরা নির্ণয় করিতে পারি :—

(1) অসম আকৃতির কোন কঠিন বস্তুর আয়তন (volume) ;

(2) কঠিন বস্তুর ঘনত্ব বা ঘনাঙ্ক (density) ;

(3) কোন ধাতুর বিশুদ্ধতা ;

(4) বস্তুর আপেক্ষিক ঘনত্ব (Relative density) এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব (specific gravity)।

(1) **অসম আকৃতির কঠিন বস্তুর আয়তন নির্ণয়** (ধরিয়া লও, অসম আকৃতির যে কঠিন বস্তুর আয়তন নির্ণয় করিতে যাইতেছ সেই বস্তুটি জলে গলিয়া যায় না এবং উহা সম-আয়তন জল অপেক্ষা ভারী)।—

বস্তুটিকে তুলাযন্ত্রের সাহায্যে প্রথমে বায়ুতে ওজন কর। অতঃপর উহাকে জলের মধ্যে ডুবাইয়া ওজন কর।

মনে কর, বস্তুটির বায়ুতে ওজন $= W_1$ gms.

এবং জলের মধ্যে উহার ওজন $= W_2$ gms.

সুতরাং, জলে বস্তুটির আপাত-ওজন হ্রাস $\rightarrow (W_1 - W_2)$ gms.

কাজেই আর্কিমিদিস-সূত্র হিসাবে $(W_1 - W_2)$ gms. নির্দেশ করে বস্তুটির সম-আয়তন জলের ওজন।

আমরা ধরিয়া লই 1 gm. জলের আয়তন $= 1$ c.c. ;

সুতরাং, $(W_1 - W_2)$ gms. ওজনে জলের আয়তন $= (W_1 - W_2)$ c.c.

কাজেই বস্তুটির আয়তন $(W_1 - W_2)$ c.c.

(2) কঠিন বস্তুর ঘনত্ব বা ঘনাঙ্ক (Density) নির্ণয়—

আমরা জানি বস্তুর ঘনত্ব $= \dfrac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{বস্তুর আয়তন}}$ ।

এখন মনে কর বস্তুটির বাতাসে ওজন $= W_1$ gms.

এবং জলের মধ্যে উহার ওজন $= W_2$ gms.

আর্কিমিদিস-সূত্র হিসাবে এক্ষেত্রে বস্তুটির আয়তন $= (W_1 - W_2)$ c.c.

(যেহেতু আমরা ধরিয়া লই 1 gm. জলের আয়তন = 1 c.c.)

সুতরাং, সি. জি. এস. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব $D = \dfrac{W_1}{W_1 - W_2}$ gms./c.c. ।

(গ্রাম প্রতি ঘন সে. মি.)

যদি F. P. S. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হয় তাহা হইলে বস্তুর ওজন পাউণ্ডে নির্দেশ করা প্রয়োজন।

মনে কর, বস্তুটির বাতাসে ওজন $= W_1$ lbs.

এবং জলের মধ্যে ওজন $= W_2$ lbs.

আর্কিমিদিস-সূত্র হিসাবে $(W_1 - W_2)$ lbs. বস্তুটির সম-আয়তন জলের ওজন।

আমরা জানি 62·5 lbs. জলের আয়তন = 1 c. ft. (এক ঘনফুট) ;

সুতরাং, 1 পাউণ্ড জলের আয়তন $= \dfrac{1}{62\cdot5}$ c. ft. ;

সুতরাং, $(W_1 - W_2)$ lbs. জলের আয়তন $= \dfrac{W_1 - W_2}{62\cdot5}$ c. ft.

সুতরাং, বস্তুটির আয়তন $= \dfrac{W_1 - W_2}{62\cdot5}$ c. ft.

এক্ষেত্রে ঘনত্বের সংজ্ঞা হিসাবে,

$$\text{বস্তুটির ঘনত্ব } D = \frac{W_1}{\dfrac{W_1 - W_2}{62\cdot5}} = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \times 62\cdot5 \text{ lbs./c. ft.}$$

সুতরাং, F.P.S. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব = C.G.S. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব × 62·5.

(3) **কোন ধাতুর বিশুদ্ধতা নির্ণয়**—মনে কর, একখণ্ড স্বর্ণ তোমাকে দেওয়া হইল। ইহার বিশুদ্ধতা আর্কিমিদিস-এর সূত্র সাহায্যে তুমি নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় করিতে পার।

মনে কর, ঐ স্বর্ণখণ্ডের বাতাসে ওজন W_1 gms.

এবং উহার জলে ওজন W_2 gms.

আর্কিমিদিস-এর সূত্র হিসাবে,

$(W_1 - W_2)$ gms. = স্বর্ণখণ্ডের সম-আয়তন জলের ওজন।

সুতরাং, এক্ষেত্রে ঐ ওজনের জলের আয়তন $= (W_1 - W_2)$ c.c.

(কারণ 1 gm. জলের আয়তন 1 c.c.) ;

সুতরাং, ঐ স্বর্ণখণ্ডের ঘনত্ব $= \frac{W_1}{W_1 - W_2}$.

এখন যদি এই নির্ণীত ঘনত্ব খাঁটি সোনার ঘনত্বের (খাঁটি সোনার ঘনত্ব 19 gms./c.c.) সমান হয়, তাহা হইলে তুমি বুঝিবে তোমার স্বর্ণখণ্ড বিশুদ্ধ। অন্যথায় উহার মধ্যে খাদ মিশানো আছে বলিয়া ধরিয়া লইতে হইবে।

বিকল্প পদ্ধতি ঃ মনে কর, উপরোক্ত স্বর্ণখণ্ডের বাতাসে ওজন $= W_1$ gms. এবং জলের মধ্যে উহার ওজন $= W_2$ gms.

সুতরাং, আর্কিমিদিস-সূত্র হিসাবে স্বর্ণখণ্ডটির আয়তন $= (W_1 - W_2)$ c.c., অতঃপর $(W_1 - W_2)$ c.c. আয়তনের একখণ্ড বিশুদ্ধ স্বর্ণ লও। উহার বায়ুতে ওজন যদি তোমার পূর্বের স্বর্ণখণ্ডের ওজনের সমান না হয়, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে তোমার স্বর্ণখণ্ডটি বিশুদ্ধ নহে।

একখণ্ড ধাতুতে কি পরিমাণ খাদ মিশ্রিত আছে তাহা নির্ণয় করিবার প্রণালী নিম্নলিখিত উদাহরণটির দ্বারা এখানে বুঝানো হইল।

উদাহরণ। মনে কর, একটি সোনার মুকুটে কিছু রূপার খাদ মিশ্রিত আছে। মুকুটটির বায়ুতে ওজন 20 gms. এবং জলের মধ্যে নিমজ্জিত অবস্থায় উহার ওজনের হ্রাস 1·25 gms. ঐ মুকুটটির মধ্যে কি পরিমাণ সোনা এবং কি পরিমাণ রূপা আছে তাহা নির্ণয় কর। [সোনার ঘনত্ব 19·3 gms./c.c. এবং রূপার ঘনত্ব 10·5 gms./c.c.].

উত্তর। আর্কিমিদিস-সূত্র হিসাবে,

মুকুটের ওজনের হ্রাস = উহার সম-আয়তন জলের ওজন।

এক্ষেত্রে জলের মধ্যে মুকুটটির ওজনের হ্রাস = 1·25 gms.

সুতরাং, আর্কিমিদিস-সূত্র হিসাবে মুকুটটির আয়তন $(V) = 1{\cdot}25$ c.c.।

এখন মনে কর, মুকুটটির মধ্যে যে পরিমাণ সোনা আছে তাহার ওজন W_1 gms. এবং উহার আয়তন V_1 c.c. এবং যে পরিমাণ রূপা আছে তাহার ওজন W_2 gms. এবং আয়তন V_2 c.c.।

সুতরাং, $(W_1 + W_2) = 20$ gms. (মুকুটটির ওজন),

এবং $W_2 = (20 - W_1)$ gms.।

এখন ঘনত্বের সংজ্ঞা হিসাবে,

$$W_1 \text{ gms. সোনার আয়তন } (V_1) = \frac{W_1}{19{\cdot}3} \text{ c.c.}$$

এবং W_2 gms. রূপার আয়তন $(V_2) = \frac{W_2}{10 \cdot 5}$ c.c.

এখন $(V_1 + V_2) = V$;

সুতরাং, $\frac{W_1}{19 \cdot 3} + \frac{W_2}{10 \cdot 3} = 1 \cdot 25$,

অথবা, $\frac{W_1}{19 \cdot 1} + \frac{20 - W_1}{10 \cdot 5} = 1 \cdot 25$.

এই সমীকরণটির সমাধান হইতে দেখিতে পাই,

$W_1 = 15 \cdot 078$ gms. (সোনার ওজন)

এবং $W_2 = (20 - 15 \cdot 078)$ gms.

$= 4 \cdot 922$ gms. (রূপার ওজন) ;

সুতরাং, মুকুটটিতে 4·922 gms. রূপার খাদ মিশ্রিত আছে।

(4) **বস্তুর আপেক্ষিক ঘনত্ব বা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়**—আর্কিমিদিস-এর সূত্র হিসাবে বস্তুর আপেক্ষিক ঘনত্ব বা আপেক্ষিক গুরুত্ব কিরূপভাবে নির্ণয় করিতে পারা যায় তাহা পরবর্তী পরিচ্ছেদে (দশম পরিচ্ছেদে) আলোচনা করা হইল।

উদাহরণ। (1) 7·8 gms./c.c. ঘনত্বের একটি ইস্পাত-ঘনক পারদে ভাসিতে পারে। পারদের ঘনত্ব 13·6 gms./c.c. হইলে (ক) ঘনকের কত অংশ পারদতলের উপরিভাগে থাকিবে ? (খ) পারদে ঘনকের আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় পারদতলের উপর যদি এরূপ পরিমাণে জল ঢালা হয় যাহাতে জলের তল ঘনকটির উপরিতল পর্যন্ত পৌঁছায়, তাহা হইলে ঐ অবস্থায় ঘনকের কত অংশ পারদে নিমজ্জিত থাকিবে তাহা নির্ণয় কর। [A cubical block of steel (density 7·8 gms./cm^3) floats on mercury (density = 13·6 gms./cm^3). What fraction of the block is above the mercury surface ? If water is poured on the mercury surface so that the water surface just rises to the top of the steel block, find out the fraction of the block now under mercury.]

[B. E. College Selection Test]

উত্তর। (ক) মনে কর, ঘনকের প্রতি বাহুর দৈর্ঘ্য $= l$ cm.

তাহা হইলে ঘনকের প্রতি তলের ক্ষেত্রফল $= l^2$ (sq. cm.) ;

এবং ঘনকের আয়তন $= l^3$ (c.c.) ;

ঘনকের ওজন বা ভর $= l^3 \times$ ইস্পাতের ঘনত্ব

$= l^3 \times 7 \cdot 8$ gms.

মনে কর, ঘনকটি l_1 উচ্চতা পর্যন্ত পারদের উপরে থাকিয়া পারদে ভাসে।

তাহা হইলে, ঘনকটির নিমজ্জিত অংশের আয়তন $=(l-l_1)\times l^2$

[$\because$ ঘনকের প্রতি তলের ক্ষেত্রফল l^2]

স্থতরাং, অপসারিত পারদের ওজন $=(l-l_1)\times l^2\times 13{\cdot}6$. gms.

এখন ভাসন-নীতির শর্ত অনুসারে,

অপসারিত পারদের ওজন = ঘনকের ওজন।

$$\therefore \quad (l-l_1)\times l^2\times 13{\cdot}6=l^3\times 7{\cdot}8.$$

$$\therefore \quad \frac{l-l_1}{l}=\frac{7{\cdot}8}{13{\cdot}6}, \qquad \text{অথবা,} \quad 1-\frac{l_1}{l}=\frac{7{\cdot}8}{13{\cdot}6},$$

অথবা, $$\frac{l_1}{l}=1-\frac{7{\cdot}8}{13{\cdot}6}=\frac{13{\cdot}6-7{\cdot}8}{13{\cdot}6}$$

$$=\frac{5{\cdot}8}{13{\cdot}6}=\frac{58}{136}=\frac{29}{68}.$$

স্থতরাং, ঘনকটি $\frac{29}{68}$ অংশ পারদের উপরে থাকিয়া ভাসিবে এবং $1-\frac{29}{68}=\frac{39}{68}$ অংশ পারদে নিমজ্জিত থাকিবে।

(খ) ঘনকটি যখন আংশিক পারদে এবং আংশিক জলে নিমজ্জিত থাকে তখন মনে কর, ঘনকটির l_2 অংশ পর্যন্ত পারদে নিমজ্জিত থাকে।

তাহা হইলে উহার $(l-l_2)$ অংশ জলে নিমজ্জিত থাকে।

এক্ষেত্রে অপসারিত পারদের আয়তন $=l_2\times l^2$,

এবং অপসারিত জলের আয়তন $=(l-l_2)\times l^2$;

স্থতরাং, অপসারিত পারদের ওজন + অপসারিত জলের ওজন

$$=l_2\times l^2\times 13{\cdot}6+(l-l_2)\times l^2\times 1$$

[$\because$ জলের ঘনত্ব 1 gm./c.c.]

ভাসন-নীতির শর্ত হিসাবে,

অপসারিত পারদ এবং জলের ওজন = ঘনকের ওজন।

$$\therefore \quad l_2\times l^2\times 13{\cdot}6+(l-l_2)\times l^2=l^3\times 7{\cdot}8.$$

অথবা, $l_2\times 13{\cdot}6+(l-l_2)=l\times 7{\cdot}8$,

অথবা, $l_2\times 12{\cdot}6=7{\cdot}8l-l$

$=6{\cdot}8l$,

অথবা, $\frac{l_2}{l}=\frac{6{\cdot}8}{12{\cdot}6}=\frac{34}{63}.$

স্থতরাং, ঘনকটির $\frac{34}{63}$ অংশ পারদে নিমজ্জিত থাকিবে এবং $1-\frac{34}{63}=\frac{29}{63}$ অংশ জলে নিমজ্জিত থাকিবে।

(2) 3 cms. ব্যাসার্ধের একটি কাচের ফাঁপা বর্তুল কেবলমাত্র জলে ডুবিয়া থাকিতে পারে। ঐ বর্তুলটির মধ্যে কি পরিমাণ কাচ আছে নির্ণয় কর। [A hollow glass globe of radius 3 cms. can just sink in water Calculate the amount of glass in the globe.]

উত্তর। বর্তুলের আয়তন $= \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} \times 3\ 14 \times 3 \times 3 \times 3$ ($\because r = 3$ cms.)

$= 36 \times 3{\cdot}14$ c c.

যেহেতু বর্তুলটি কেবলমাত্র জলে ডুবিয়া থাকিতে পারে,

সুতরাং, বর্তুলটির ওজন W = উহার সম-আয়তন জলের ওজন

$= 36 \times 3\ 14$ gms.

$= 113\ 04$ gms ($\because$ জলের ঘনত্ব একক)

সুতরাং, বর্তুলটির কাচের ওজন $= 113{\cdot}04$ gms.।

(3) ·25 gm./c.c ঘনত্বের একটুকরা কর্কের সহিত 10 gms./c c. ঘনত্বের 20 gms. ওজনের একটি ধাতব খণ্ড বাঁধিয়া জলে রাখিলে উহা জলে কেবলমাত্র ভাসিয়া থাকে। এক্ষেত্রে কর্কের ওজন এবং আয়তন নির্ণয় কর। [A piece of cork of density ·25 gm./c.c. is tied with a lump of metal of density 10 gms /c.c. and of mass 20 gms. The combination just floats in water, calculate the volume and the mass of the cork]

উত্তর। মনে কর, কর্ক-টুকরার ভর $= M$ gms. ,

সুতরাং, কর্কখণ্ডের অয়তন $V_1 = \frac{M}{25}$ c.c. $= 4M$ c c

ধাতব খণ্ডের আয়তন $V_2 = \frac{20\ (\text{ভর})}{10\ (\text{ঘনত্ব})} = 2$ c c.

কাজেই কর্ক এবং ধাতব খণ্ডের সামগ্রিক আয়তন $= (4M + 2)$ c.c. ।

যেহেতু কর্ক এবং উহার সংলগ্ন ধাতব খণ্ড যুক্তভাবে কেবলমাত্র জলে ভাসিতে পারে।

সুতরাং, উহাদের দ্বারা অপসারিত জলের আয়তন $= (4M + 2)$ c.c.,

সুতরাং, উহাদের দ্বারা অপসারিত জলের ওজন $= (4M + 2)$ gms. ।

এখন কেবলমাত্র ভাসনের শর্ত হিসাবে, কর্ক এবং ধাতব খণ্ডের সামগ্রিক ওজন = উহাদের দ্বারা অপসারিত জলের ওজন।

সুতরাং, $M + 20 = 4M + 2$,

অথবা, $3M = 18$,

সুতরাং, কর্কের ভর $M = 6$ gms.

এবং কর্কের আয়তন $V_1 = \dfrac{M}{\text{কর্কের ঘনত্ব}} = \dfrac{6}{.25} = 24$ c.c. ।

সারাংশ

কোন বস্তু তরলে আংশিক বা পূর্ণ নিমজ্জিত থাকিলে উহার উপর তরলের লব্ধি-ঘাত উপরের দিকে ক্রিয়া করে এবং এই ঊর্ধ্বঘাতের পরিমাণ বস্তুটির নিমজ্জিত অংশের সম-আযতন তরলেব ওজনের সমান।

বস্তুর উপর তরলেব ঊর্ধ্বমুখী লব্ধি-ঘাত প্রযুক্ত হওযায় তরলে বস্তুটির ওজনের আপাত-হ্রাস হইয়া থাকে।

বস্তুর ভাসন ও নিমজ্জন—কোন বস্তু তরলে ডুবিয়া যায় যখন বস্তুর ওজন (W) উহার সম-আযতন তরলেব ওজন (W_1) অপেক্ষা অধিক। অর্থাৎ $W > W_1$।

কোন বস্তু তরলে আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায ভাসিযা থাকে যখন বস্তুর ওজন (W) উহার সম-আয়তন তবলের ওজন (W_1) অপেক্ষা কম। অর্থাৎ $W < W_1$।

কোন বস্তু তরলে কেবলমাত্র ভাসিযা থাকে বা কেবলমাত্র ডুবিয়া থাকে যখন বস্তুব ওজন (W) উহাব সম-আযতন তরলের ওজনের (W_1) সমান। অর্থাৎ $W = W_1$।

কার্টেজীয় ডুবুরি পবীক্ষার সাহায্যে নিম্নলিখিত বিষযগুলি বুঝানো হয়। যথা—(1) বাযুজাতীয় পদার্থের সংনম্যতা, (2) তরল এবং গ্যাসে পাস্কালেব চাপ-সঞ্চালন নীতি এবং (3) ভাসন ও নিমজ্জনের শর্ত।

আর্কিমিদিস-সূত্র—কোন বস্তু তরলে আংশিক বা পূর্ণ নিমজ্জিত হইলে আপাত-দৃষ্টিতে ঐ বস্তুর ওজনেব হ্রাস হয় এবং বস্তুর ওজনের এই আপাত-হ্রাসের পরিমাণ নিমজ্জিত অংশদ্বারা অপসারিত তবলের ওজনের সমান অর্থাৎ নিমজ্জিত অংশের সম-আয়তন তরলের ওজনের সমান।

বালতি-চোঙ পরীক্ষার সাহায্যে আর্কিমিদিস-এর সূত্রের যথার্থতা প্রমাণ করা হয়।

আর্কিমিদিস-সূত্রের সাহায্যে আমরা নির্ণয় করিতে পারি :—

(1) অসম আকৃতির কঠিন বস্তুর আয়তন।

(2) কঠিন বস্তুর ঘনত্ব বা ঘনাঙ্ক।

(3) ধাতুর বিশুদ্ধতা।

(4) বস্তুর আপেক্ষিক ঘনত্ব এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব।

প্রশ্নমালা

1. তরলে নিমজ্জিত কোন বস্তুর উপর লব্ধি-ঘাত এবং তরলের প্লবতা বলিতে কি বোঝ? উহাদের পরিমাণ কিরূপভাবে নির্ণয় করিতে পারা যায়? [What do

you mean by resultant thrust and the buoyancy of liquid over a body immersed in the liquid ? How would you calculate the magnitude of this thrust ?]

2. বস্তুর প্রকৃত ওজন এবং তরলে উহার আপাত-ওজন বলিতে কি বোঝ ? তরলে পূর্ণ বা আংশিক নিমজ্জিত থাকিলে বস্তুর ওজনের আপাত-হ্রাস কেন হইয়া থাকে ? [What do you mean by real weight of body and its apparent weight in a liquid ? Why does a body partially or wholly immersed in a liquid appear to lose a part of its weight ?]

3. তরলে বস্তুর ভাসন ও নিমজ্জনের শর্তগুলি আলোচনা কর। [Discuss the conditions of floatation and sinking of a body.]

4. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলি কিরূপভাবে ব্যাখ্যা করিতে পারা যায় তাহা সহজভাবে বুঝাইয়া বল :—

(i) বরফ জলে ভাসে কেন ?

(ii) একটুকরা নিরেট লোহা জলে ডোবে, কিন্তু একটি লোহার কড়াই বা লোহার তৈয়ারী জাহাজ জলে ভাসে কেন ?

(iii) মানুষ সাঁতার কাটে কি করিয়া ?

(iv) বিশুদ্ধ জলে সাঁতার দেওয়া অপেক্ষা সমুদ্রজলে সাঁতার দেওয়া সহজ কেন ?

(v) মাছ কি করিয়া সাধারণতঃ জলে ভাসে আবার ডোবে ?

[Explain in a simple way the following statement :—

(i) Why does ice float in water ?

(ii) A solid piece of iron sinks in water. But why can an iron pan or a ship float in water ?

(iii) How can a man swim in water ?

(iv) Why is it easier to swim in sea-water than in sweet water ?

(v) How can a fish swim or sink in water ?]

5. কার্টেজীয় ডুবুরির গঠন এবং কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। কার্টেজীয় ডুবুরির পরীক্ষা হইতে কি কি বিষয় বুঝিতে পারা যায় ? [Describe the construction and working of the "Cartesian diver", and explain in a simple way the different items of information that follow the Cartesian diver experiment.]

6. আর্কিমিদিস-এর সূত্র লিখ। পরীক্ষাদ্বারা এই সূত্রের যথার্থতা প্রমাণ কর।

কি কি নির্ণয়ক্ষেত্রে আর্কিমিদিস-সূত্রের প্রয়োগ দেখিতে পাওয়া যায়? [Enunciate Archimedes' principle and verify its truth with a suitable experiment. Enumerate the cases where Archimedes' principle is applied for measurement of different quantities.]

7. আর্কিমিদিস-সূত্র প্রয়োগ করিয়া অসম আকৃতির একটি কঠিন বস্তুর আয়তন কিভাবে নির্ণয় করিতে পারা যায়? [How would you determine the volume of a body of irregular shape by applying Archimedes' principle ?]

8. আর্কিমিদিস-সূত্র প্রযোগ করিযা কোন ধাতুর বিশুদ্ধতা কিরূপভাবে নির্ণয় করিতে পারা যায় তাহা বুঝাইয়া লিখ। [Explain how you would determine the purity of metal with the help of Archimedes' principle.]

9. 1000 কিলোগ্রাম ওজনের একচাকা বরফ সমুদ্রের জলে ফেলিয়া দেওয়া হইল। উহার নিমজ্জিত অংশের আয়তন নির্ণয় কর। বরফের ঘনত্ব ·917 gm./c.c. এবং সমুদ্রজলের ঘনত্ব 1·03 gms./c.c. [A block of ice weighing 1000 kgs. is thrown into the sea. Determine the volume of ice submerged. The density of ice is ·917 gm./c.c. and the density of sea-water is 1·03 gms./c.c] [C. U. 1951]

[*Ans* : $9{\cdot}7 \times 10^5$ c.c. (আসুঃ)]

10. একটি তুলার দুই বাহুতে দুইটি ধাতব খণ্ড ঝুলাইয়া দেওয়া হইল এবং দেখা গেল জলের মধ্যে উহারা ভারসাম্য রক্ষা করিতেছে। উহাদের মধ্যে একখণ্ডের ভর 32 gms. এবং উহার ঘনত্ব 8 gms./c.c., অপর খণ্ডের ঘনত্ব 5 gms./c.c. হইলে ঐ খণ্ডের ভর কত হইবে তাহা নির্ণয় কর। [Two pieces of metal are suspended from the arms of a balance and are found to be in equilibrium when kept immersed in water. The mass of one piece is 32 gms. and its density is 8 gms./c.c. The density of the other is 5 gms./c.c. What is its mass ?] [C. U. 1949]

[*Hints* : যেহেতু উভয় খণ্ড জলে ভারসাম্য রক্ষা করে, সুতরাং উভয় খণ্ডেরই জলে আপাত ওজন সমান।] [*Ans* : 35 gms.]

11. 36 c.c. আয়তনের একটি বস্তু তাহার $\frac{3}{4}$ অংশ জলে নিমজ্জিত থাকিয়া ভাসিতে পারে। বস্তুটির ওজন এবং ঘনত্ব নির্ণয় কর। [A substance measuring 36 c.c. floats with three quarters of its volume under water. Find the weight and density of the body. [C. U. 1940]

[*Ans* : 27 gms. ; ·75 gm./c.c.]

12. একটি ফাঁপা কাচের গোলক ·8 gm./c.c. ঘনত্বের মেথিলেইটিড্ স্পিরিটের মধ্যে কেবলমাত্র নিমজ্জিত থাকিতে পারে। ঐ গোলকটি আবার 1·8 gms./c.c. ঘনত্বের সাল্‌ফিউরিক্ অ্যাসিডের মধ্যে আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসিয়া থাকিতে পারে। গোলকটির আয়তনের কত অংশ সাল্‌ফিউরিক্ অ্যাসিডে নিমজ্জিত থাকিবে ? [A hollow sphere made of glass will just and only just sink in methylated spirit (density ·8 gm./c.c). It floats in Sulphuric acid (density 1·8 gms./c.c). Calculate the proportion of the volume of the sphere immersed in the acid.] [C. U. 1937]

[*Ans* : আয়তনের 44 অংশ (আনুমানিক) নিমজ্জিত থাকিবে]

13. 275 gms. ওজনের একটুকরা লোহা পারদে রাখিলে লৌহখণ্ডটি উহার আয়তনের $\frac{5}{8}$ অংশ নিমজ্জিত অবস্থায় পারদে ভাসিতে পারে। পারদের ঘনত্ব 13·59 gms./c.c. হইলে লোহার ঘনত্ব এবং আয়তন নির্ণয় কর। [A piece of iron weighing 275 gms. floats in mercury (density 13·59 gms./c.c.) with $\frac{5}{8}$ of its volume immersed. Find the volume and the density of iron.]

[C. U. 1946]

[*Ans* : 7·54 gms./c.c. ; 36·42 c.c.]

14. একটি বস্তুর বাতাসে ওজন 50 gms. এবং জলে ওজন 40 gms. ; ঐ বস্তুটির 1·5 gms./c.c. ঘনত্বের একটি তরলে (ক) কত ওজন হইবে তাহা নির্ণয় কর এবং (খ) উহার ঘনত্ব কত হইবে তাহাও নির্ণয় কর। [A body weighs 50 gms. in air and 40 gms. in water. How much would it weigh in a liquid of density 1·5 gms./c.c. ? Calculate also the density of the body.]

[*Ans* : 35 gms. ; 5 gm./c.c.]

15. একটি কঠিন বস্তু তাহার আয়তনের $\frac{1}{8}$ অংশ উপরে রাখিয়া জলে ভাসিতে পারে। ঐ বস্তু তাহার আয়তনের কত অংশ উপরে রাখিয়া অপর একটি তরলে ভাসিতে পারিবে তাহা নির্ণয় কর (তরলের ঘনত্ব 1·2 gms./c.c.) [A substance can float in water with $\frac{1}{8}$ of its volume projecting. What portion of its volume will be projecting if it floats in another liquid of density 1·2 gms./c.c. ?] [*Ans* : $\frac{11}{48}$]

দশম পরিচ্ছেদ

কঠিন এবং তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়

(Determination of specific gravity of solids and liquids)

10·1. আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা : নির্দিষ্ট আয়তনের কোন বস্তুর ওজন তাহার সম-আয়তন কোন প্রমাণ বস্তুর ওজনের অনুপাতে যত-সংখ্যক গুণ ভারী তাহাই নির্দেশ করে বস্তুর **আপেক্ষিক গুরুত্ব।**

কঠিন এবং তরল পদার্থের ক্ষেত্রে এই প্রমাণ বস্তু (Standard substance) ধরা হয় **4°C তাপমাত্রার বিশুদ্ধ জল।** কিন্তু গ্যাসের ক্ষেত্রে এই প্রমাণ বস্তু ধরা হয় সাধারণ চাপ এবং তাপমাত্রার হাইড্রোজেন গ্যাস। [মনে রাখিবে যে, সাধারণ চাপ বলিতে 760 m.m. দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের চাপ এবং সাধারণ তাপমাত্রা বলিতে 0°C বুঝায়।]

উপরোক্ত সংজ্ঞা হিসাবে আমরা বুঝিতে পারি, আপেক্ষিক গুরুত্ব একটি আনুপাতিক সংখ্যা মাত্র। ইহা কোন একককে নির্দেশিত হয় না। উদাহরণ হিসাবে যদি বলি, সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব 19, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে, একখণ্ড সোনা তাহার সম-আয়তন 4°C তাপমাত্রার বিশুদ্ধ জল অপেক্ষা 19 গুণ ভারী। অনুরূপভাবে যদি কেরোসিন তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব ·8 বলা হয়, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে কিছু পরিমাণ কেরোসিন তেল তাহার সম-আয়তন 4°C তাপমাত্রার বিশুদ্ধ জল অপেক্ষা ·8 গুণ ভারী।

[**দ্রষ্টব্য**—কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়কালে **4°C তাপমাত্রার বিশুদ্ধ জলকে পরবর্তী আলোচনাতে "প্রমাণ জল" বলিয়া অভিহিত করা হইল।** 4°C তাপমাত্রার বিশুদ্ধ জলের ঘনত্ব সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে এক একক।]

10·2. গাণিতিক সঙ্কেতে কঠিন এবং তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব প্রকাশ : মনে কর, S কোন কঠিন কিংবা তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব (Specific gravity)। সংজ্ঞা অনুসারে,

$$S = \frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তনের কোন বস্তুর ওজন}}{\text{উহার সম-আয়তন প্রমাণ জলের ওজন}}$$

$$= \frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তনের বস্তুর ভর}}{\text{সম-আয়তন প্রমাণ জলের ভর}} \quad (\because \text{ওজন} = \text{ভর} \times g)$$

এখন এই নির্দিষ্ট আয়তন যে-কোন আয়তন ধরা যাইতে পারে। মনে কর, ইহা একক আয়তন। তাহা হইলে—

$$S=\frac{\text{একক আয়তনের বস্তুর ভর}}{\text{একক আয়তনের প্রমাণ জলের ভর}}$$

$$=\frac{\text{বস্তুর ঘনত্ব}}{\text{প্রমাণ জলের ঘনত্ব}}$$ (∵ একক আয়তনের বস্তুর ভর নির্দেশ করে বস্তুর ঘনত্ব।)

এই হিসাবে কোন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্বকে বলা যায় প্রমাণ জলের তুলনায় ঐ বস্তব আপেক্ষিক ঘনত্ব (Relative density)।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে প্রমাণ জলের ঘনত্ব এক একক অর্থাৎ, 1 গ্রাম প্রতি ঘন-সে. মি. (1 gm./c.c.)। সুতরাং,

$$S=\frac{\text{সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব}}{1}$$

অর্থাৎ সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব = বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব।

আবার এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে প্রমাণ জলেব ঘনত্ব = 62·5 পাউণ্ড প্রতি ঘনফুট (lbs./c.ft.)। সুতরাং,

$$S=\frac{\text{এফ. পি. এস্ পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব}}{62\cdot5}$$

অর্থাৎ এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব = 62·5 × বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব।

10·3. ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের পার্থক্য (Distinction between density and specific gravity)ঃ উপরের আলোচনা হইতে আমরা কোন বস্তুর ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের মধ্যে নিম্নলিখিত পার্থক্য দেখিতে পাই :

(i) সংজ্ঞা অনুসারে আপেক্ষিক গুরুত্ব একটি আনুপাতিক সংখ্যা মাত্র। ইহা প্রকাশ করিতে কোন এককের আশ্রয় লইতে হয় না। কিন্তু ঘনত্বের নির্দিষ্ট একক আছে। যেমন, গ্রাম প্রতি ঘন-সে. মি. (gm./c.c.), পাউণ্ড প্রতি ঘনফুট (lbs./c.ft.) ইত্যাদি।

(ii) সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব সংখ্যায় (Numerically) উহার আপেক্ষিক গুরুত্বের সমান। যেমন, রূপার আপেক্ষিক গুরুত্ব 10·5 হইলে উহার ঘনত্ব 10·5 গ্রাম প্রতি ঘন-সে. মি. হইবে।

(iii) এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব সংখ্যায় সমান হয় না। এই পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব উহার আপেক্ষিক গুরুত্বের 62·5 গুণ বেশী হয়। অর্থাৎ এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব $D=S\times62\cdot5$। যেমন, রূপার আপেক্ষিক গুরুত্ব

10·5 হইলে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে রূপার ঘনত্ব 10·5 × 62·5 পাউণ্ড প্রতি ঘনফুট হইবে।

10·4. আপেক্ষিক গুরুত্ব ও আপেক্ষিক ঘনত্বের সম্পর্ক (Relation between specific gravity and relative density) : মনে কর, দুইটি বস্তু A এবং B এর আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে S_1 এবং S_2 এবং B বস্তুটির তুলনায় A বস্তুর আপেক্ষিক ঘনত্ব σ [illegible]। সুতরাং,

$$\sigma = \frac{A \text{ বস্তুর ঘনত্ব}}{B \text{ বস্তুর ঘনত্ব}} = \frac{\dfrac{A \text{ বস্তুর ঘনত্ব}}{\text{প্রমাণ জলের ঘনত্ব}}}{\dfrac{B \text{ বস্তুর ঘনত্ব}}{\text{প্রমাণ জলের ঘনত্ব}}}$$

$$= \frac{A \text{ বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব}}{B \text{ বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব}} = \frac{S_1}{S_2};$$

সুতরাং, $S_1 = \sigma \times S_2$,

অর্থাৎ **A বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব = B বস্তুর তুলনায় A বস্তুর আপেক্ষিক ঘনত্ব × B বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব।**

উদাহরণ। কেরোসিন তেলের তুলনায় ফট্‌কিরির আপেক্ষিক ঘনত্ব 2·2 ; কেরোসিন তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব ·8 হইলে ফট্‌কিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব কত হইবে তাহা নির্ণয় কর। (The density of alum relative to kerosene oil is 2·2, and specific gravity of kerosene is ·8. Calculate the specific gravity of alum.)

মনে কর, এক্ষেত্রে ফট্‌কিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব S_1, কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব S_2 = ·8 এবং কেরোসিনের তুলনায় ফট্‌কিরির আপেক্ষিক ঘনত্ব $\sigma = 2·2$। উপরের সমীকরণ অনুযায়ী,

$$S_1 = \sigma \times S_2$$
$$= 2·2 \times ·8 = 1·76.$$

10·5. পরীক্ষার দ্বারা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (Experimental determination of specific gravity) : কঠিন এবং তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিবার বিভিন্ন পদ্ধতি আছে। যথা :

(1) উদস্থৈতিক তুলার (Hydrostatic balance) সাহায্যে ;

(2) হাইড্রোমিটার যন্ত্রের (Hydrometer) সাহায্যে ;

(3) আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের (Specific gravity bottle) সাহায্যে ;

(4) হেয়ারের যন্ত্রের (Hare's apparatus) সাহায্যে ; এবং

(5) 'ইউ'-আকৃতি নলের ('U' tube) সাহায্যে।

ইহা ছাড়া ঘনক আকারের হাল্কা কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব ভাসন-নীতির সাহায্যে সরাসরিভাবে নির্ণয় করা যায়।

আপেক্ষিক গুরুত্বের তাপমাত্রা সংশোধন (Temperature correction of specific gravity)—স্মরণ রাখিতে হইবে, উপরোক্ত পদ্ধতিগুলির সাহায্যে কোন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্বের পরিমাণ পরীক্ষাগারে যাহা নির্ণীত হয় উহা বস্তুর প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব নহে। উহাকে বলিতে পারা যায়, পরীক্ষাগারের তাপমাত্রার জলের তুলনায় বস্তুর আপেক্ষিক ঘনত্ব। সুতরাং, 10 4 অনুচ্ছেদের সমীকরণ অনুযায়ী বস্তুর প্রকৃত বা সংশোধিত আপেক্ষিক গুরুত্ব,

$$S = \frac{\text{বস্তুর ঘনত্ব}}{\text{পরীক্ষাগারের তাপমাত্রার জলের ঘনত্ব}} \times \frac{\text{পরীক্ষাগারের তাপমাত্রার জলের ঘনত্ব}}{\text{প্রমাণ জলের ঘনত্ব}}$$

অর্থাৎ $S = S_t \times d$ [∵ সি জি এস পদ্ধতিতে প্রমাণ জলের ঘনত্ব এক একক]

(এখানে S প্রকৃত বা সংশোধিত আপেক্ষিক গুরুত্ব, S_t—নির্ণীত আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং d—পরীক্ষাগারের তাপমাত্রার জলের ঘনত্ব।)

মনে কর, কোন বস্তুর পরীক্ষাগারে নির্ণীত আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·7 এবং পরীক্ষাগারের তাপমাত্রা 30°C। ঐ তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব 996 gm./c.c। সুতরাং বস্তুটির প্রকৃত বা সংশোধিত আপেক্ষিক গুরুত্ব 1 7 × 996।

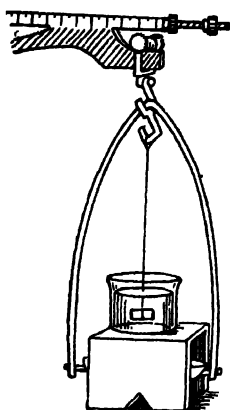
এই সংশোধনকে আমরা আপেক্ষিক গুরুত্বের তাপমাত্রা সংশোধন (Temperature correction of specific gravity) বলিয়া থাকি।

10·6. উদস্থৈতিক তুলার সাহায্যে বিভিন্ন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (Determination of specific gravity by Hydrostatic Balance) :

(ক) জল অপেক্ষা ভারী এবং জলে অদ্রবণীয় (insoluble) ; যেমন—লোহা, তামা, কাচ ইত্যাদি কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়।

এক্ষেত্রে পদার্থটির এমন পরিমাণের একটি টুকরা লইতে হইবে যাহার ওজন খুব সামান্য নহে। এই বস্তু-টুকরাটি বাতাসে ওজন কর। মনে কর, বাতাসে উহার ওজন W_1 gm.

অতঃপর সূক্ষ্ম সূতার সাহায্যে ঐ বস্তুখণ্ডকে জলের মধ্যে ডুবাইয়া ওজন কর (10A চিত্রে দেখ)।



চিত্র 10A

মনে কর, জলের মধ্যে উহার ওজন W_2 gm.

এখন উপরোক্ত দুই ওজনের সাহায্যে আমরা ঐ বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে পারি।

বস্তুর বাতাসে ওজন $= W_1$ gm.

বস্তুর জলে ওজন $= W_2$ gm.

সুতরাং, $W_1 - W_2 =$ বস্তুর বাতাসে ওজন − বস্তুর জলে ওজন

= বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজন (আর্কিমিদিস-এর সূত্র অনুসারে)

সুতরাং, পরীক্ষাগারের তাপমাত্রায় নির্ণীত

$$\text{বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{বস্তুর সম-আয়তনের জলের ওজন}}$$

$$= \frac{W_1}{W_1 - W_2}$$

এবং বস্তুর সংশোধিত আপেক্ষিক গুরুত্ব—

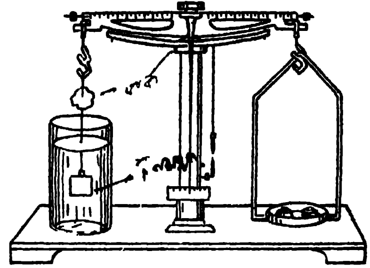
$$S = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \times d$$

এক্ষেত্রে পরীক্ষাগারের তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব "d"gm./c.c.

(খ) **জলে অদ্রবণীয়** (insoluble), **হাল্‌কা কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়** (Determination of Specific gravity of solid insoluble in water and lighter than water)—জলে অদ্রবণীয় হাল্‌কা কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়কালে আমরা একটুকরা কর্ক অথবা একটুকরা মোম উদাহরণ হিসাবে লইতে পারি। মনে কর, আমরা এখানে কর্কের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিব।

সুবিধামত আকার এবং আয়তনের একটুকরা কর্ক লও এবং উহাকে কর্ক প্রেসের (Cork press) সাহায্যে খুব ভালোভাবে চাপিয়া লও যাহাতে উহার অভ্যন্তরস্থ ছিদ্রগুলি সংকীর্ণ হইয়া যায়। কর্ক জলে ভাসিয়া থাকে। কাজেই উহাকে জলে ডুবাইবার জন্য উপযুক্ত ওজনের একটি নিমজ্জক (Sinker)—যেমন, একটুকরা সীসা অথবা লোহা লও।

এখন কর্কটিকে তুলাব সাহায্যে বাতাসে ওজন কর। মনে কর, এই ওজন "W_1"gm.। অতঃপর কর্কটিকে এবং নিমজ্জকটিকে একটি সূক্ষ্ম সূতার সাহায্যে এমনভাবে বাঁধ যাহাতে তুলাদণ্ডের বাম প্রান্তের হুক হইতে সূতাটি ঝুলাইলে নিমজ্জকটি জলে ডুবিয়া যাইবে, কিন্তু কর্কটি বাতাসে থাকিবে (10B চিত্রে দেখ)। এমতাবস্থায় উহাব ওজন লও। মনে কর, এই ওজন "W_2"gm.



চিত্র 10B

পরিশেষে কর্ক-টুকবা এবং নিমজ্জকটি সূতা দিয়া একসঙ্গে বাঁধ এবং সূতাটিকে তুলার বামদিকেব হুকে এমনভাবে ঝুলাও যাহাতে কর্ক এবং নিমজ্জকটি জলে পূর্ণভাবে নিমজ্জিত থাকে। এমতাবস্থায় কর্ক এবং নিমজ্জকেব ওজন লও। মনে কব, এই ওজন "W_3"gm ।

এখন উপবোক্ত তিনটি ওজনেব সাহায্যে আমবা কর্কেব আপেক্ষিক গুরুত্ব নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় কবিতে পাবি।

কর্কেব বাতাসে ওজন $= W_1$ gm.

কর্কেব বাতাসে ওজন + নিমজ্জকেব জলে ওজন $= W_2$ gm.

কর্কেব জলে ওজন + নিমজ্জকেব জলে ওজন $= W_3$ gm.

এখন $W_2 - W_3 =$ কর্কেব বাতাসে ওজন − কর্কেব জলে ওজন।

সুতবাং, আর্কিমিদিস-এব সূত্র হিসাবে,

$W_2 - W_3 =$ কর্কের সম-আযতন জলেব ওজন।

অতএব, পবীক্ষাগারেব তাপমাত্রায কর্কেব আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{W_1}{W_2 - W_3},$$

এবং তাপমাত্রা সংশোধিত প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব,

$$S = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \times d$$

এক্ষেত্রে পরীক্ষাগারের তাপমাত্রায় জলেব ঘনত্ব d gm./c.c.

উদাহরণ। (1) একটুকরা কাঠের বাতাসে ওজন 74 gms , একখণ্ড নিমজ্জক-সীসার জলে ওজন 32 gms., কাঠের টুকরা এবং নিমজ্জক উহাদের সমষ্টিগত জলে ওজন 13·5 gms.। কাঠের আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং ঐ কাঠ-টুকরাটির আয়তন নির্ণয় কর।

(A piece of wood weighs 74 gms. in air. A lead sinker which weighs 32 gms. in water is attached to the wood to sink it. If the total weight in water is 13·5 gms. find the sp. gr. of wood and the volume of the piece of wood.)

উত্তর। কাঠ-টুকরার বাতাসে ওজন

$$W_1 = 74 \text{ gms.}$$

কাঠ-টুকরার বাতাসে ওজন + নিমজ্জকের জলে ওজন

$$W_2 = (74 + 32) \text{ gms.} = 106 \text{ gms.}$$

কাঠ-টুকরার জলে ওজন + নিমজ্জকের জলে ওজন $W_3 = 13{\cdot}5$ gms.

স্মতরাং 10·6 (খ) অনুচ্ছেদের formula হিসাবে,

কাঠ-টুকরার আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W_1}{W_2 - W_3} = \dfrac{74 \text{ gms.}}{(106 - 13{\cdot}5) \text{ gms.}}$

$$= \frac{74 \text{ gms.}}{92{\cdot}5 \text{ gms.}} = {\cdot}8.$$

C. G. S. পদ্ধতিতে ঘনত্ব = আপেক্ষিক গুরুত্ব ;

স্মতরাং, কাঠ-টুকরাটির আয়তন $= \dfrac{\text{কাঠ-টুকরার ভর}}{\text{উহার ঘনত্ব}} = \dfrac{74}{{\cdot}8} = 92{\cdot}5$ c.c.

(2) একটি কঠিন বস্তু A-র বাতাসে ওজন 7·55 gms., জলে ওজন 5·15 gms. এবং অপর একটি তরল B তে উহার ওজন 6·35 gms.। উপরোক্ত তথ্যগুলির সাহায্যে A বস্তু এবং B তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর। (Given a body A which weighs 7·55 gms. in air, 5·15 gms. in water and 6·35 gms. in another liquid B, calculate from these data the sp. gr. of the body A and that of the liquid B.) [C. U. 1932]

উত্তর। আর্কিমিদিস-এর সূত্র হিসাবে,

A দ্বারা অপসারিত জলের ওজন $= (7{\cdot}55 - 5{\cdot}15)$ gms.

$$= 2{\cdot}4 \text{ gms.}$$

∴ আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা হিসাবে, A বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{\text{বস্তুর ওজন}}{\text{অপসারিত জলের ওজন}}$$

$$= \frac{7{\cdot}55}{2{\cdot}4} = 3{\cdot}15 \text{ (আনুমানিক)।}$$

আবার, A বস্তুর দ্বারা অপসারিত জলের ওজন $= 2{\cdot}4$ gms.

এবং A বস্তুর দ্বারা অপসারিত B তরলের ওজন $= (7{\cdot}55 - 6{\cdot}35)$ gms

$= 1{\cdot}2$ gms

যেহেতু অপসারিত জল এবং অপসারিত তরল উভয়েরই আয়তন A বস্তুর আয়তনের সমান।

$$\text{তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{A \text{ দ্বারা অপসারিত তরলের ওজন}}{A \text{ দ্বারা অপসারিত জলের ওজন}}$$

$$= \frac{1{\cdot}2}{2{\cdot}4} = {\cdot}5$$

(গ) **জল অপেক্ষা ভারী এবং জলে দ্রবণীয় (soluble) কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়** (Determination of specific gravity of solid soluble in water and heavier than water)—উদাহরণ হিসাবে এই কঠিন পদার্থ আমরা একটুকরা ফট্‌কিরি (alum) কিংবা একটুকরা মিছরি ধরিতে পারি। মনে কর, আমরা ফটকিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিব।

ফটকিরি জলে গলিয়া যায়। সুতরাং, সাধারণ নিয়মে উহাকে জলের মধ্যে ওজন করা চলিবে না। ফট্‌কিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে আমরা কেরোসিন তেল ব্যবহার করিয়া থাকি। কারণ ফটকিরি কেরোসিনে গলে না এবং উহা কেরোসিন অপেক্ষা ভারী।

প্রথমতঃ, একটুকরা ফট্‌কিরি লইয়া উহাকে স্পিরিট দ্বারা ভালোভাবে পরিষ্কার কর। ঐ ফটকিরির টুকরাটিকে যথানিয়মে উদস্থৈতিক তুলার সাহায্যে বাতাসে ওজন কর। মনে কর, এই ওজন W_1 gm.। অতঃপর এই ফট্‌কিরির টুকরাটিকে কেরোসিনে ওজন কর। মনে কর, W_2 gm এই ওজন।

গণনা (Calculation): ফট্‌কিরির বাতাসে ওজন $= W_1$ gm.

ফট্‌কিরির কেরোসিন তেলে ওজন $= W_2$ gm.

এক্ষেত্রে $W_1 - W_2 =$ ফট্‌কিরির বাতাসে ওজন − ফট্‌কিরির কেরোসিন তেলে ওজন

= ফট্‌কিরির সম-আয়তন কেরোসিন তেলের ওজন

(আর্কিমিদিস-এর সূত্র হিসাবে)।

অতএব, কেরোসিনের তুলনায় ফট্‌কিরির আপেক্ষিক ঘনত্ব (Relative density)

$$= \frac{W_1}{W_1 - W_2}.$$

মনে কর, কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব S_2 এবং ফট্‌কিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব S_1, তাহা হইলে 10 4 অনুচ্ছেদের সমীকরণ হিসাবে,

$$S_1 = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \times S_2.$$

সাধারণতঃ কেরোসিন তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব ধরা হয় 8

সুতরাং, এক্ষেত্রে $S_1 = \dfrac{W_1}{W_1 - W_2} \times 8.$

(ঘ) **উদস্থৈতিক তুলাযন্ত্রের দ্বারা কোন তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়** (Determination of specific gravity of liquid by Hydrostatic balance)—এক্ষেত্রে আমাদিগকে এমন একটি কঠিন বস্তুর সাহায্য লইতে হয় যাহা এই তরলে এবং জলে গলিয়া যায় না এবং এই কঠিন বস্তুটি জল এবং তরলের তুলনায় ভারী।

মনে কর, আমরা কেরোসিন তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিব। আমরা জানি, একটুকরা কাচ জল এবং কেরোসিন তেলে গলিয়া যায় না এবং উহা এই উভয় তরলের তুলনায় ভারী। সুতরাং, সুবিধামত আকার এবং আয়তনের একটুকরা কাচ এক্ষেত্রে সাহায্যকারী বস্তু হিসাবে (Auxiliary body) লওয়া হয়।

কেরোসিন তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিবার সময় প্রথমে ঐ সাহায্যকারী কাচখণ্ডকে তুলার সাহায্যে বাতাসে ওজন কর। মনে কর, ইহার ওজন W_1 gm.।

অতঃপর ঐ সাহায্যকারী কাচের টুকরাটিকে জলে ওজন কর।. মনে কর, এই ওজন W_2 gm.। সর্বশেষে কাচখণ্ডটিকে কেরোসিন তেলে ডুবাইয়া ওজন লও। মনে কর, এই ওজন W_3 gm.।

গণনা (Calculation) : উপরোক্ত তিনটি ওজনের সাহায্যে আমরা কেরোসিন তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে পারি।

সাহায্যকারী বস্তুর বাতাসে ওজন $= W_1$ gm. … (1)

সাহায্যকারী বস্তুর জলে ওজন $= W_2$ gm. … (2)

সাহায্যকারী বস্তুর কেরোসিন তেলে ওজন $= W_3$ gm. … (3)

এখন, (2) কে (1) হইতে বিয়োগ করিলে দেখিতে পাই,

$W_1 - W_2 =$ সাহায্যকারী বস্তুর বাতাসে ওজন − সাহায্যকারী বস্তুর জলে ওজন।

কাজেই আর্কিমিদিস-এর সূত্র হিসাবে,

$W_1 - W_2 =$ সাহায্যকারী বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজন।

পুনরায়, (3) কে (1) হইতে বিয়োগ করিলে দেখিতে পাই,

$W_1 - W_3$ = সাহায্যকারী বস্তুর বাতাসে ওজন − সাহায্যকারী বস্তুর কেরোসিন তেলে ওজন।

কাজেই, আর্কিমিদিস-এর সূত্র হিসাবে,

$W_1 - W_3$ = সাহায্যকারী বস্তুর সম-আয়তন কেরোসিন তেলের ওজন।

অতএব, পরীক্ষাগারের তাপমাত্রায় কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{\text{সাহায্যকারী বস্তুর সম-আয়তনের কেরোসিনের ওজন}}{\text{সাহায্যকারী বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজন}}$$

$$= \frac{W_1 - W_3}{W_1 - W_2}.$$

সুতরাং, কেরোসিনের সংশোধিত আপেক্ষিক গুরুত্ব,

$$S = \frac{W_1 - W_3}{W_1 - W_2} \times d.$$

এক্ষেত্রে পরীক্ষাগারের তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব d gm./c c.

মনে রাখিতে হইবে, এই সংশোধিত আপেক্ষিক গুরুত্বের সমীকরণ অনেক সময় আমরা উপেক্ষা করিয়া থাকি। সুতরাং, মোটামুটি হিসাবে আমরা লিখিয়া থাকি,

$$S = \frac{W_1 - W_3}{W_1 - W_2}.$$

10·7. হাইড্রোমিটার যন্ত্রের সাহায্যে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় (Determination of specific gravity by Hydrometer) : কোন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিবার জন্য আমরা দুইপ্রকারের হাইড্রোমিটার দেখিতে পাই। যথা—

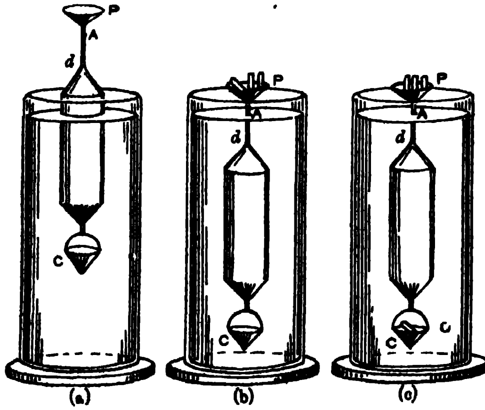
(1) **নির্দিষ্ট নিমজ্জন হাইড্রোমিটার** (Constant immersion or variable weight Hydrometer)। **নিকল্‌সন হাইড্রোমিটার** (Nicholson's Hydrometer) নির্দিষ্ট নিমজ্জন হাইড্রোমিটারের পর্যায়ভুক্ত।

(2) **বিভিন্ন নিমজ্জন হাইড্রোমিটার** (Variable immersion or constant weight Hydrometer)। ইহাকে **সাধারণ হাইড্রোমিটার** (Common Hydrometer) বলা হয়। দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপার ল্যাক্টোমিটার (Lactometer), ব্যাটারির অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপার ব্যাটারি হাইড্রোমিটার (Battery Hydrometer) ইত্যাদি এই সাধারণ হাইড্রোমিটারের পর্যায়ভুক্ত।

উপরে উল্লিখিত উভয়প্রকার হাইড্রোমিটারের কার্যপদ্ধতি ভাসন-নীতির উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ একটি হাইড্রোমিটার যখন কোন তরলে ভাসে, তখন ঐ হাইড্রো-

মিটারের সামগ্রিক ওজন উহার নিমজ্জিত অংশ দ্বারা অপসারিত তরলের ওজনের সমান হয়।

10·8. নিকল্‌সন হাইড্রোমিটার (Nicholson's Hydrometer)ঃ 10C (a) চিত্রে নিকল্‌সন হাইড্রোমিটার দেখানো হইল। এই যন্ত্র মূলতঃ দুইমুখবদ্ধ একটি ফাঁপা ধাতব চোঙ; ইহার দুই প্রান্ত শঙ্কু-আকৃতির (Conical) এবং এই দুই প্রান্তে একটি করিয়া সরু দণ্ড খাড়াভাবে লাগানো আছে। চোঙের উপরের প্রান্তের দণ্ডটি অপেক্ষাকৃত লম্বা এবং ইহার গায়ে একটি দাগ (A) চিহ্নিত করা আছে। এই দণ্ডের উপর প্রান্তে একটি পাত্র (P) ওজন ইত্যাদি চাপানোর জন্য সংযুক্ত আছে। চোঙের নীচের প্রান্তের দণ্ডটি অপেক্ষাকৃত ছোট এবং ইহার সহিত একটি ছোট শঙ্কু-আকৃতির মুখবন্ধ বালতি (C) সংযুক্ত থাকে। এই বালতিতে উপযুক্ত পরিমাণ পারদ অথবা সীসার গুটিকা রাখা হয় যাহাতে জল কিংবা অন্য তরলে হাইড্রোমিটারটি আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় খাড়াভাবে ভাসিতে পারে।



চিত্র 10C

এই যন্ত্র ব্যবহারকালে উহার উপর-পাত্রে এমন ওজন চাপাইতে হয় যাহাতে যন্ত্রের A দাগ পর্যন্ত অংশ সর্বদা তরলে নিমজ্জিত থাকে। এই কারণে নিকল্‌সন হাইড্রোমিটারকে **নির্দিষ্ট নিমজ্জন হাইড্রোমিটার** বলা হয়। এই যন্ত্রের সাহায্যে কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় করা যায়।

(ক) **নিকল্‌সন হাইড্রোমিটারের সাহায্যে কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়**—মনে কর, জলে অদ্রবণীয় ছোট একখণ্ড বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে। প্রথমতঃ হাইড্রোমিটারটিকে একটি আংশিক জলপূর্ণ লম্বা কাচের পাত্রে (tall glass jar) ভাসাও এবং উহার উপরের P পাত্রে এমন ওজনের বাটখারা চাপাও যাহাতে হাইড্রোমিটারটি A দাগ পর্যন্ত ডুবিয়া যায়। মনে কর, এই ওজন W_1 gm.।

অতঃপর, ঐ বাটখারা সরাইয়া যে বস্তুখণ্ডের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে তাহা P পাত্রের উপর চাপাও। এই বস্তুর ওজন এইরূপ হওয়া প্রয়োজন যে, উহা P পাত্রে থাকিলে হাইড্রোমিটারের A দাগ জলের উপর থাকে। এই অবস্থায়

প্রয়োজনমত বাটখারা চাপাইয়া হাইড্রোমিটারকে পুনরায় A দাগ পর্যন্ত ডুবাও। মনে কর, এক্ষেত্রে বাটখারার ওজন W_2 gm.।

এবার বস্তুটিকে উপরের পাত্র হইতে সরাইয়া নীচের C পাত্রে রাখ এবং উপরের পাত্রে এমন ওজনের বাটখারা চাপাও যাহাতে যন্ত্রটি A দাগ পর্যন্ত জলে ডুবিয়া যায়। মনে কর, এক্ষেত্রে ব্যবহৃত বাটখারার ওজন W_3 gm.।

(**দ্রষ্টব্য।** যদি বস্তুটি জল অপেক্ষা হাল্কা হয়, যেমন একটুকরা কর্ক, তাহা হইলে উহাকে সূক্ষ্ম সূতার দ্বারা C পাত্রের সঙ্গে বাঁধিয়া দিতে হইবে।)

গণনা (Calculation): মনে কর, হাইড্রোমিটারটির ওজন $= W$ gm.। যেহেতু হাইড্রোমিটারটিকে প্রতিবার একটি নির্দিষ্ট দাগ A পর্যন্ত ডুবানো হইয়াছে, সুতরাং, অপসারিত জলের ওজন প্রতিক্ষেত্রে সমান। কাজেই ভাসন-নীতি অনুযায়ী হাইড্রোমিটারের প্রতিবারের সামগ্রিক ওজন পরস্পর সমান। সুতরাং, দ্বিতীয় বারের সামগ্রিক ওজন = প্রথম বারের সামগ্রিক ওজন।

অর্থাৎ $W +$ বস্তুর বাতাসে ওজন $+ W_2 = W + W_1$.

$\therefore$ বস্তুর বাতাসে ওজন $= (W_1 - W_2)$ gm.

আবার, তৃতীয় বারের সামগ্রিক ওজন = দ্বিতীয় বারের সামগ্রিক ওজন;

অর্থাৎ $W +$ বস্তুর জলে ওজন $+ W_3 = W +$ বস্তুর বাতাসে ওজন $+ W_2$;

সুতরাং, $(W_3 - W_2)$ gm. = বস্তুর বাতাসে ওজন − বস্তুর জলে ওজন

= বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজন।

অতএব, বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{W_1 - W_2}{W_3 - W_2}$.

(এক্ষেত্রে তাপমাত্রা সংশোধন উপেক্ষা করা হইল।)

উদাহরণ। একটি নিকল্‌সন হাইড্রোমিটারকে জলে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে হইলে উপরের পাত্রে 20 gms. ওজন চাপাইতে হয়। হাইড্রোমিটারটির উপরের পাত্রে একটুকরা কাচ রাখিয়া 10 gms. ওজন চাপাইলে হাইড্রোমিটারটি নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবিয়া যায়। আবার, জলে নিমজ্জিত নীচের পাত্রে কাচ-টুকরাটি রাখিয়া উপরের পাত্রে 14 gms. ওজন চাপাইলে হাইড্রোমিটারটি নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত জলে ডুবিয়া যায়। কাচের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর। (A Nicholson's Hydrometer requires 20 gms. weight on its upper pan to sink it to the standard mark in water and requires 10 gms. weight when the piece of glass is put on the upper pan to sink it to the standard mark and requires 14 gms. weight on the upper pan when the glass is put in the lower pan in water. Calculate the specific gravity of glass.)

উত্তর। এক্ষেত্রে $W_1 = 20$ gms.
$W_2 = 10$ gms.
$W_3 = 14$ gms.

সুতরাং, 10·7 (ক) অনুচ্ছেদের formula হিসাবে,

$$S = \frac{W_1 - W_2}{W_3 - W_2} = \frac{20 - 10}{14 - 10} = \frac{10}{4} = 2{\cdot}5.$$

∴ কাচের আপেক্ষিক গুরুত্ব $S = 2{\cdot}5$.

(খ) **নিকল্‌সন হাইড্রোমিটারের সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়**—এক্ষেত্রে হাইড্রোমিটারটিকে প্রথমে ওজন করিয়া লও। মনে কর, এই ওজন W gm.। অতঃপর, হাইড্রোমিটারটিকে একটি লম্বা কাচের পাত্রের জলের মধ্যে ভাসাও এবং হাইড্রোমিটারটির উপর পাত্র P-তে এমন ওজন W_1 gm. চাপাও যাহাতে হাইড্রোমিটারটি নির্দিষ্ট দাগ A পর্যন্ত নিমজ্জিত হয়। অতঃপর এই ওজন সরাইয়া লও এবং পরীক্ষাধীন তরলের মধ্যে পূর্বের ন্যায় হাইড্রোমিটারটিকে ভাসাও। এখন হাইড্রোমিটারটির উপর-পাত্রে এমন ওজন (W_2 gm.) চাপাও যাহাতে হাইড্রোমিটারটি তরলে নির্দিষ্ট দাগ A পর্যন্ত নিমজ্জিত হয়। এই তিনটি ওজনের সাহায্যে আমরা নিম্নলিখিতভাবে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে পারি।

ভাসন-নীতি অনুযায়ী,

$W + W_1 =$ যন্ত্রের নিমজ্জিত অংশ দ্বারা অপসারিত জলের ওজন,

$W + W_2 =$ যন্ত্রের নিমজ্জিত অংশ দ্বারা অপসারিত তরলের ওজন।

যেহেতু উভয়ক্ষেত্রে যন্ত্রটি নির্দিষ্ট A দাগ পর্যন্ত নিমজ্জিত হয়, সুতরাং, অপসারিত জলের আয়তন এবং অপসারিত তরলের আয়তন সমান।

সুতরাং, এক্ষেত্রে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$S = \frac{\text{অপসারিত তরলের ওজন}}{\text{অপসারিত জলের ওজন}} = \frac{W + W_2}{W + W_1}$$ (এখানে তাপমাত্রা সংশোধন উপেক্ষা করা হইল)

উদাহরণ। ·6 আপেক্ষিক গুরুত্বের তরলে একটি নিকল্‌সন হাইড্রোমিটার নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত নিমজ্জিত হয়, কিন্তু জলে ঐ দাগ পর্যন্ত নিমজ্জিত হইতে হাইড্রোমিটারের উপরের পাত্রে 120 gms. ওজন চাপানো প্রয়োজন হয়। হাইড্রোমিটারটির

ওজন কত তাহা নির্ণয় কর। (A Nicholson's Hydrometer sinks to a certain mark in a liquid of sp. gr. ·6, but it takes 120 gms. to sink to the same mark in water. What is the weight of the Hydrometer ?)

উত্তর। মনে কর, হাইড্রোমিটারটির ওজন $= W$ gm.। হাইড্রোমিটারটি নিজের ওজনে ·6 আপেক্ষিক গুরুত্বের তরলে এবং 120 gms. ওজনসহ জলে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবিয়া যায়। কাজেই ভাসন-নীতির শর্ত অনুসারে,

হাইড্রোমিটার দ্বারা অপসারিত তরলের ওজন $= W$ gm.

এবং " " " জলের ওজন $= (W+120)$ gms.

উভয় ক্ষেত্রেই আয়তন একই হওয়ায় তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব,

$$S = \frac{\text{অপসারিত তরলের ওজন}}{\text{অপসারিত জলের ওজন}}$$

$$= \frac{W}{W+120}.$$

এক্ষেত্রে, $S = \cdot 6.$

সুতরাং, $\cdot 6 = \frac{W}{W+120}.$

অথবা, $\cdot 6W + 72 = W$

অথবা, $\cdot 4W = 72.$

$\therefore \quad W = 180$ gms.

(গ) **হাইড্রোমিটারের সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের বিকল্প পদ্ধতি**—পূর্ববর্ণিত 10·8 (খ)-পদ্ধতিতে হাইড্রোমিটারকে ওজন করিয়া লইতে হয়। কিন্তু এই পদ্ধতিতে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়কালে হাইড্রো-মিটারকে ওজন করার প্রয়োজন হয় না। এক্ষেত্রে একটুকরা কঠিন পদার্থ লও যাহা জল এবং তরলে অদ্রবণীয় এবং যাহা জল এবং তরল অপেক্ষা ভারী। (উদাহরণ-স্বরূপ একটুকরা কাচ লইলেই চলিবে।) হাইড্রোমিটারটিকে 10·8 (ক)-পদ্ধতি অনুযায়ী জলের মধ্যে ভাসাও এবং এই সাহায্যকারী কঠিন পদার্থের টুকরাটিকে (মনে কর, কাচ-টুকরাটিকে) যন্ত্রের উপর-পাত্র P-তে বসাইয়া উহার উপর এমন ওজন চাপাও যাহাতে হাইড্রোমিটারটি A দাগ পর্যন্ত নিমজ্জিত হয়। মনে কর, এই চাপানো ওজন W_1 gm.।

অতঃপর ওজন এবং বস্তুখণ্ডটিকে উপরের P পাত্র হইতে সরাইয়া লও এবং বস্তুখণ্ডকে নীচের পাত্রে রাখিয়া P পাত্রে এমন ওজন চাপাও যাহাতে যন্ত্রটি A দাগ পর্যন্ত নিমজ্জিত হয়। মনে কর, এই চাপানো ওজন W_2 gm.।

এখন হাইড্রোমিটারকে জল হইতে সরাইয়া লইয়া পরীক্ষাধীন তরলে ভাসাও এবং পূর্ববর্ণিত পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি কর। মনে কর, এক্ষেত্রে সাহায্যকারী বস্তুটি যখন P পাত্রে থাকে তখন উহার উপর যে ওজন চাপাইতে হয় তাহা W_3 gm. এবং সাহায্যকারী বস্তুটিকে যখন তরলের মধ্যে C পাত্রে রাখা হয় তখন P পাত্রে যে ওজন চাপাইতে হয় তাহা W_4 gm.।

গণনা : এক্ষেত্রে $W_2 - W_1$ = সাহায্যকারী বস্তুর বাতাসে ওজন – ঐ বস্তুর জলে ওজন

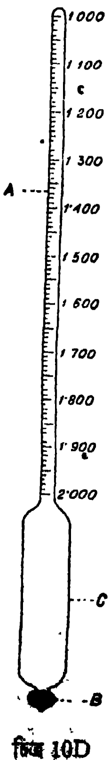
= সাহায্যকারী বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজন।

অনুরূপভাবে,

$W_4 - W_3$ = সাহায্যকারী বস্তুর সম-আয়তন তরলের ওজন।

∴ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $S = \dfrac{W_4 - W_3}{W_2 - W_1}$ (এক্ষেত্রে তাপমাত্রা সংশোধন উপেক্ষা করা হইল।)

10·9. সাধারণ হাইড্রোমিটার (Common Hydrometer)—10D চিত্রে একটি সাধারণ হাইড্রোমিটার দেখানো হইল। এই চিত্র অনুযায়ী আমরা দেখিতে পাই যে, যন্ত্রটি বস্তুতঃ একটি ফাঁপা কাচের চোঙ (C)। এই চোঙের নীচের প্রান্ত আংশিক পারদপূর্ণ একটি কাচের কুণ্ডের (B) সঙ্গে সংযুক্ত এবং চোঙটির উপর প্রান্ত সমব্যাসের একটি লম্বা কাচের নলের (A) সঙ্গে সংযুক্ত। এই নলটির গা বিভিন্ন তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব অনুযায়ী অংশাঙ্কিত। কুণ্ডটির মধ্যে এমন পরিমাণ পারদ দেওয়া হয় যাহাতে কোন তরলে ডুবাইলে এই সামগ্রিক যন্ত্রটি আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় খাড়াভাবে ভাসিয়া থাকিতে পারে। যন্ত্রটির নল তরলের মধ্যে যে দাগ পর্যন্ত ডুবিয়া যায় সেই দাগের পাঠই সরাসরিভাবে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্দেশ করে।



চিত্র 10D

নলে দাগ কাটিবার নিয়ম—জল এবং জল অপেক্ষা ভারী তরলের ক্ষেত্রে নলটির গায়ে নিম্নলিখিতভাবে অংশাঙ্কিত করা হয়। প্রথমতঃ যন্ত্রটিকে জলের মধ্যে ভাসানো হয়। ইহাতে নলের যে পর্যন্ত জলে ডুবিয়া যায় সেখানে নলের গায়ে একটি দাগ কাটা হয়, এবং ঐ দাগটি 1000 দ্বারা সূচিত করা হয়। ইহার অর্থ এই যে, জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব এক। অতঃপর যে সমস্ত তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব আমাদের পূর্বেই জানা আছে এইরকম কতকগুলি বিভিন্ন তরল লইয়া উহাদের মধ্যে যন্ত্রটিকে পর পর ভাসানো হয়।

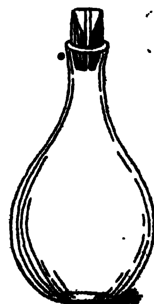
মনে কর, কোন তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·2 ; এই তরলে যন্ত্রটিকে যখন ভাসানো হয় তখন নলের যে পর্যন্ত তরলের মধ্যে ডুবিয়া যায় সেখানে দাগ কাটিয়া 1200 দ্বারা সূচিত করা হয়। অনুরূপভাবে অন্যান্য জানিত আপেক্ষিক গুরুত্বের তরলে নলটিকে ডুবাইয়া উহার গায়ে বিভিন্ন দাগ কাটা হয়।

চিত্রে যে যন্ত্রটি দেখানো হইল উহা দ্বারা যে সমস্ত তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব দুইএর অধিক নহে কেবল তাহাদেরই আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা সম্ভব।

ব্যাটারি হাইড্রোমিটার—ইহা একটি সাধারণ হাইড্রোমিটারের রূপান্তর মাত্র। এই যন্ত্রে একটি সাধারণ হাইড্রোমিটার একটি মোটা কাচের নলের মধ্যে ব্যাটারির acid-এ আংশিক নিমজ্জিত ভাবে ভাসানো থাকে। ঐ যন্ত্রের নলটি যে অংশাঙ্কন পর্যন্ত acid-এ ডুবিয়া থাকে উহার পাঠই নির্দেশ করে ব্যাটারির acid-এর আপেক্ষিক গুরুত্ব।

ল্যাক্টোমিটার—দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব সরাসরিভাবে নির্ণয় করিবার যন্ত্রটিকে ল্যাক্টোমিটার (Lactometer) বলা হয়। এই যন্ত্রটি পূর্ববর্ণিত সাধারণ হাইড্রোমিটার যন্ত্রের আকারের অনুরূপ। কিন্তু উহার অংশাঙ্কিত নলটি আকারে সাধারণ হাইড্রোমিটারের ন্যায় অতটা লম্বা নহে এবং ইহার কুণ্ডটি অপেক্ষাকৃত বড় আকারের। নলটির গায়ে অংশাঙ্কন 15 হইতে 45 পর্যন্ত থাকে। 15 দাগ নির্দেশ করে আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·015, এবং 45 দাগ নির্দেশ করে আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·045। সাধারণতঃ বিশুদ্ধ দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·029 হইতে 1·033 দেখা যায়। জল-মিশ্রিত দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব, বিশুদ্ধ দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব অপেক্ষা কম। সুতরাং জলমিশ্রিত দুধে এই যন্ত্রটি ভাসাইলে উহা অধিক পরিমাণে ডুবিয়া যায় এবং উহার পাঠ 1·029 অপেক্ষা কম হয়। সুতরাং, এই যন্ত্রের সাহায্যে দুধ বিশুদ্ধ কিংবা জল-মিশ্রিত তাহা আমরা বলিয়া দিতে পারি।

10·10. আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল (Specific gravity bottle)ঃ 10E চিত্রে একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল দেখানো হইল। এই বোতলটি পাতলা কাচ দ্বারা নির্মিত। ইহার তলা সমতল থাকায় খালি অবস্থায় ইহাকে যে-কোন পাত্রের উপর স্থিরভাবে বসাইয়া রাখা যায়। বোতলের মুখ একটি ঘষা কাচের ছিপি দ্বারা বন্ধ করা যায়। এই ছিপির মধ্যে লম্বালম্বিভাবে একটি সরু ছিদ্র থাকে যাহার ফলে বোতলটি কোন তরলের দ্বারা পূর্ণ করিয়া ছিপিটি আঁটিয়া দিলে বোতলের অতিরিক্ত তরল ঐ সরু ছিদ্র দিয়া বাহির হইয়া আসিতে পারে। সাধারণতঃ এই বোতলটিকে পূর্ণ করিতে 25 গ্রাম অথবা 50 গ্রাম জলের প্রয়োজন হয়।



চিত্র 10E

(ক) **আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়**—এই বোতলের সাহায্যে কোন গুঁড়া পদার্থ (Solid in powdered form), ক্ষুদ্র কণাবিশিষ্ট পদার্থ, যেমন—বালুকণা, চিনি ইত্যাদির আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যাইতে পারে।

কার্যপদ্ধতি—মনে কর, এই বোতলের সাহায্যে আমরা বালুকণার আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিব। প্রথমতঃ কিছু পরিমাণ বালুকণা জল দিয়া ভালভাবে ধৌত করিয়া শুকাইয়া লও। অতঃপর উহা হইতে কিছু পরিমাণ বড় দানাযুক্ত বালুকণা বাছিয়া লও। এখন আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলটিকে জলমিশ্রিত নাইট্রিক অ্যাসিডে ধৌত করিয়া পরে উহাকে distilled water দ্বারা একাধিকবার ধৌত কর এবং উহাকে শুকাইয়া লও। অতঃপর বোতলটিকে ওজন কর। মনে কর, এই ওজন W_1 gm.। এখন পূর্ববর্ণিত পরিষ্কৃত কিছু পরিমাণ বালুকণা বোতলের মধ্যে ঢালিয়া দিয়া বোতলটিকে ওজন কর। মনে কর, এই ওজন W_2 gm.। বালুকণাগুলি বোতলে থাকাকালীন উহাকে বিশুদ্ধ জল দ্বারা পূর্ণ কর। এমতাবস্থায় বোতলটিকে আবার ওজন কর। মনে কর, এই ওজন W_3 gm.। পরিশেষে বোতলটি হইতে জল এবং বালুকণা ঢালিয়া ফেল এবং উহাকে ভালভাবে জল দ্বারা পরিষ্কার করিয়া শুকাইয়া লও। অতঃপর বোতলটিকে বিশুদ্ধ জল দ্বারা পূর্ণ করিয়া উহার ওজন লও। মনে কর, এই ওজন W_4 gm.। (বোতলটি প্রতিবারই ছিপিসহ ওজন করিবে।)

গণনা : খালি বোতলের ওজন $= W_1$ gm. ··· (1)

বোতলের ওজন + বস্তুর ওজন $= W_2$ gm. ··· (2)

বোতলের ওজন + বস্তুর ওজন + জলের ওজন $= W_3$ gm. ··· (3)

জলপূর্ণ বোতলের ওজন $= W_4$ gm. ··· (4)

(2) হইতে (1) বিয়োগ করিলে আমরা দেখিতে পাই,

$W_2 - W_1 =$ বস্তুর ওজন ··· (5)

(3) হইতে (2) বিয়োগ করিলে,

$W_3 - W_2 =$ বোতলের আয়তনের যে অংশে বস্তু থাকে তাহা বাদে অবশিষ্ট আয়তনের জলের ওজন ··· (6)

(4) হইতে (1) বিয়োগ করিলে,

$(W_4 - W_1) =$ বোতলটির সমগ্র আয়তনপূর্ণ জলের ওজন (7)

সুতরাং, (7) হইতে (6) বিয়োগ করিলে আমরা দেখিতে পাই,

$(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2) =$ বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজন।

অতএব, বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব,

$$S = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}. \quad \cdots \quad (8)$$

বিশেষ দ্রষ্টব্য। লবণ, চিনি ইত্যাদি জলে দ্রবণীয়। সুতরাং, আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতল দ্বারা উহাদের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইলে বোতলে জল না লইয়া আমরা অনেক সময় কেরোসিন তেল লইয়া থাকি। কারণ লবণ, চিনি ইত্যাদি কেরোসিন তেলে দ্রবণীয় নহে। অতঃপর উপরোক্ত পদ্ধতিতে কেরোসিন তেলের তুলনায় লবণ কিংবা চিনির আপেক্ষিক ঘনত্ব বাহির করিয়া লই।

এখন মনে কর, কেরোসিন তেলের তুলনায় লবণ কিংবা চিনির আপেক্ষিক ঘনত্ব ρ

সুতরাং, (8) সমীকরণদৃষ্টে,

$$\rho = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}.$$

পুনরায় মনে কর, S ঐ বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং S' কেরোসিন তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব।

সুতরাং, আপেক্ষিক ঘনত্ব এবং আপেক্ষিক গুরুত্বের সম্পর্ক হিসাবে,

$$S = \rho \times S' = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \times S'.$$

উদাহরণ। খালি অবস্থায় একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের ওজন 24·2 gms., বিশুদ্ধ জল দ্বারা পূর্ণ করিলে ঐ বোতলের ওজন দাঁড়ায় 74·2 gms., বোতলটি হইতে জল সরাইয়া উহাকে পরিষ্কার এবং শুষ্ক করিয়া উহার মধ্যে কিছু পরিমাণ জলে দ্রবণীয় গুঁড়া বস্তু লইলে বোতলটির ওজন দাঁড়ায় 27 gms., গুঁড়া বস্তু থাকাকালীন বোতলটির বাকি অংশ তারপিন তেল দ্বারা পূর্ণ করিলে বোতলটির ওজন দাঁড়ায় 69·91 gms., সর্বশেষে বোতলটি হইতে তারপিন তেল, গুঁড়া বস্তু ইত্যাদি ফেলিয়া দিয়া তারপিন তেল দ্বারা পূর্ণ করিলে বোতলটির ওজন দাঁড়ায় 67·81 gms.। উপরোক্ত তথ্যগুলির সাহায্যে গুঁড়া বস্তু এবং তারপিন তেলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

খালি বোতলের ওজন $= W_1 = 24{\cdot}2$ gms. ··· (1)

বোতলের ওজন + গুঁড়া বস্তুর ওজন $= W_2 = 27$ gms. ··· (2)

বোতলের ওজন + গুঁড়া বস্তুর ওজন + তারপিনের ওজন

$= W_3 = 69{\cdot}91$ gms. ··· (3)

বোতলের ওজন + তারপিনের ওজন $= W_4 = 67{\cdot}81$ gms. ··· (4)

বোতলের ওজন + জলের ওজন $= W_5 = 74{\cdot}2$ gms. ··· (5)

তারপিন তেলের তুলনায় গুঁড়া বস্তুর আপেক্ষিক ঘনত্ব, মনে কর ρ.

সুতরাং, 10·10 (ক) অনুচ্ছেদে লিখিত আপেক্ষিক ঘনত্বের সূত্র অনুযায়ী,

$$\rho = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}.$$

এক্ষেত্রে গুঁড়া বস্তুর ওজন $W_2 - W_1 = (27 - 24{\cdot}2)$ gms. $= 2{\cdot}8$ gms.

গুঁড়া বস্তুর সম-আয়তন তারপিন তেলের ওজন

$$= (W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)$$
$$= (67{\cdot}81 - 24{\cdot}2) - (69{\cdot}91 - 27)$$
$$= (43{\cdot}61 - 42{\cdot}91) \text{ gm.}$$
$$= 0{\cdot}7 \text{ gm.}$$

সুতরাং, $\rho = \frac{2{\cdot}8}{0{\cdot}7} = 4.$

এখন তারপিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব,

$$S' = \frac{W_4 - W_1}{W_5 - W_1} = \frac{67{\cdot}81 - 24{\cdot}20}{74{\cdot}2 - 24{\cdot}2}$$
$$= \frac{43{\cdot}61}{50}$$
$$= {\cdot}872.$$

সুতরাং, গুঁড়া বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব $S = \rho S'$

$$= 4 \times {\cdot}872$$
$$= 3{\cdot}488.$$

(খ) **আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়**—প্রথমে পরিষ্কৃত এবং শুষ্ক আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলটিকে ছিপিসহ ওজন কর। মনে কর, এই ওজন W_1 gm.। অতঃপর ঐ বোতলটিকে বিশুদ্ধ জল দ্বারা পূর্ণ কর এবং ছিপি আঁটিয়া জলপূর্ণ বোতলটিকে ওজন কর। মনে কর, এই ওজন W_2 gm.। এখন ছিপি খুলিয়া বোতলের জল ঢালিয়া ফেল এবং বোতলটিকে ভালভাবে শুকাইয়া লও। যে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে সেই তরল দ্বারা পূর্ণ করিয়া ছিপিসহ বোতলটিকে ওজন কর। মনে কর, এই ওজন W_3 gm.।

গণনা : খালি বোতলের ওজন $= W_1$ gm.

জল দ্বারা পূর্ণ বোতলের ওজন $= W_2$ gm.

তরল দ্বারা পূর্ণ বোতলের ওজন $= W_3$ gm.

সুতরাং, $W_2 - W_1$ = বোতলপূর্ণ জলের ওজন,

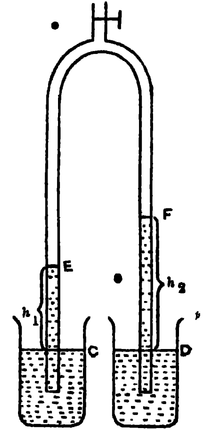
এবং $W_3 - W_1$ = বোতলপূর্ণ তরলের ওজন,

সুতরাং, তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব,

$$S = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1}$$ (তাপমাত্রা সংশোধন উপেক্ষা করা হইল।)

10·11. হেয়ার যন্ত্র (Hare's Apparatus) সাহায্যে তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ঃ

যন্ত্রের বিবরণঃ 10F চিত্রে একটি হেয়ার যন্ত্রের নমুনা দেখানো হইল। এই যন্ত্রটি বস্তুতঃ উল্টা 'U' আকৃতির দুইমুখখোলা একটি কাচের নল। সাধারণতঃ একটি কাঠের ফ্রেমে ইহা খাড়াভাবে আটকানো থাকে। নলটির বাঁকা অংশের মধ্যস্থলে একটি ছোট নল সংযুক্ত আছে। এই ছোট নলটির বাহিরের দিকের খোলা মুখ একটি পিন্‌শ্‌ ক্লীপ সহ (Pinch-cock) একটুকরা রবার নলের সঙ্গে সংযুক্ত থাকে। C পাত্রে পরীক্ষাধীন তরল এবং D পাত্রে জল লইয়া উহাদের এমন ভাবে রাখা হয়, যাহাতে 'U' নলটির খোলা মুখদ্বয় ঐ পাত্র দুইটির মধ্যে ভালভাবে ডুবিয়া থাকিতে পারে।



চিত্র 10F

কার্যপদ্ধতিঃ পিন্‌শ্‌ ক্লীপ (Pinch-cock) আল্‌গা করিয়া রবারের নলে মুখ লাগাইয়া 'U' নল হইতে কিছু পরিমাণ বায়ু টানিয়া বাহির কর এবং পিন্‌শ্‌ ক্লীপটি রবারের নলে পুনরায় ভালভাবে আটকাইয়া দাও, যাহাতে বাহির হইতে বাতাস 'U' নলে প্রবেশ না করে। এক্ষেত্রে দেখিতে পাইবে, C পাত্রের তরল বাম বাহু বাহিয়া, মনে কর, E পর্যন্ত এবং D পাত্রের জল ডান বাহু বাহিয়া, মনে কর, F পর্যন্ত উপরে উঠিয়া স্থির হইয়াছে। এমতাবস্থায় স্কেলের সাহায্যে C পাত্রের তরলের উপর তল হইতে তরলস্তম্ভের উচ্চতা মাপ। মনে কর, ইহা h_1 cm.। অনুরূপভাবে জল-স্তম্ভের উচ্চতা মাপ। মনে কর, ইহা h_2 cm.।

গণনাঃ উল্টা U নলটি হইতে যখন কিছু পরিমাণ বায়ু টানিয়া বাহির করা হয় তখন ঐ নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ বাহিরের বায়ুর চাপের তুলনায় কমিয়া যায়। এই চাপবৈষম্যের ফলেই বামদিকের নল বাহিয়া তরল এবং ডানদিকের নল বাহিয়া জল উপরের দিকে উঠে। যখন নলের বাহু দুইটির মধ্যে তরলস্তম্ভ স্থির অবস্থায় দাঁড়ায় তখন বুঝিতে হবে উল্টা 'U' নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ এবং বামবাহুর তরলস্তম্ভের

চাপ এই দুইয়ের সমষ্টি বাহিরের বায়ুর চাপের সমান। অনুরূপভাবে, নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ এবং ডান বাহুর জল-স্তম্ভের চাপের সমষ্টি বাহিরের বায়ুর চাপের সমান।

মনে কর, বাহিরের বাতাসের চাপ (atmospheric pressure) $= P$ এবং নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ $= p$.

সুতরাং, বাম বাহুর তরলস্তম্ভের স্থির-অবস্থাদৃষ্টে,

$P = p +$ তরলস্তম্ভের চাপ

$= p + h_1.d.g$ (এখানে তরল ঘনত্ব d in c.g.s. ধরা হইল।)

অনুরূপভাবে, ডান বাহুর জল-স্তম্ভের স্থির-অবস্থাদৃষ্টে,

$P = p +$ জল-স্তম্ভের চাপ

$P = p + h_2.\ g.$ (যেহেতু জলের ঘনত্ব একক in c.g.s.)

সুতরাং, $p + h_1.d.g = p + h_2.\ g$

অথবা $h_1.d.g = h_2.\ g.$

সুতরাং, $d = \dfrac{h_2}{h_1}.$

পূর্বের 10·2 অনুচ্ছেদে দেখানো হইয়াছে যে, আপেক্ষিক গুরুত্ব

= সি. জি. এস. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব।

সুতরাং, এক্ষেত্রে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $S = \dfrac{h}{h}$ = $\dfrac{\text{জল-স্তম্ভের উচ্চতা}}{\text{তরল-স্তম্ভের উচ্চতা}}$।

উদাহরণ। একটি হেয়ার-এর যন্ত্রের পরীক্ষায় দেখা গেল, উহার এক বাহুর জল-স্তম্ভের উচ্চতা 26·8 cms.। অপর বাহুতে 1·34 আপেক্ষিক গুরুত্বের তরলের উচ্চতা কত তাহা নির্ণয় কর। (In an experiment with an Hare's apparatus the length of the column of water in one limb is 26·8 cms. If the specific gravity of the liquid in the other limb be 1·34, what is the length of the liquid in that limb ?)

উত্তর। মনে কর, জল-স্তম্ভের উচ্চতা $= h_2$ cm.

এবং তরলস্তম্ভের উচ্চতা $= h_1$ cm.

সুতরাং, তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $S = \dfrac{h_2}{h_1}$,

এখানে $S = 1·34$,

$h_2 = 26·8$ cms.

সুতরাং, $1.34 = \frac{26.8}{h_1}$;

অথবা, $h_1 = \frac{26.8}{1.34}$

$= 20$ cms.

সুতরাং, অপর বাহুতে তরলস্তম্ভের উচ্চতা $h_1 = 20$ cms.

হেয়ার যন্ত্র সাহায্যে তরল পদার্থের আপেক্ষিক ঘনত্ব (Relative density) নির্ণয়—যখন একটি তরলের তুলনায় অপর একটি তরলের আপেক্ষিক ঘনত্ব নির্ণয় করিতে হয় তখন বাম পাত্রে এই দুইটি তরলের যে-কোন একটি তরলকে লইতে হয় এবং ডান পাত্রে জল না লইয়া অপর তরলটি লইতে হয়। ইহার পর পূর্ববর্ণিত পরীক্ষাটির পুনরাবৃত্তি করা হয়।

এখন মনে কর, এক্ষেত্রে বাম পাত্রের তরলের ঘনত্ব d_1 (in C.G.S)

এবং ঐ তরলস্তম্ভের দৈর্ঘ্য h_1 cm. ;

এবং ডান পাত্রের তরলের ঘনত্ব d_2 (in C.G.S.)

এবং ঐ তরলস্তম্ভের দৈর্ঘ্য h_2 cm.

সুতরাং, পূর্ব্বে সমীকরণ হিসাবে $h_1 d_1 g = h_2 d_2 g$.

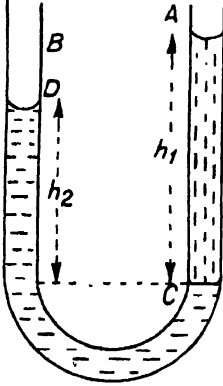
অথবা, $\frac{d_1}{d_2} = \frac{h_2}{h_1}$.

এখানে $\frac{d_1}{d_2}$ নিদেশ করে, তরল দুইটির ঘনত্বের আনুপাতিক সংখ্যা অথবা ডান পাত্রের তরলের তুলনায় বাম পাত্রের তরলের আপেক্ষিক ঘনত্ব।

উপরোক্ত সমীকরণ অনুযায়ী আমরা দেখিতে পাই, তরলের ঘনত্ব তরলস্তম্ভের দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক।

10·12. 'U' নলের সাহায্যে তরল পদার্থের ঘনত্ব এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ঃ 'U' নলের সাহায্যে কোন তরলের ঘনত্ব বা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইলে সাধারণতঃ আমরা এরূপ ধরনের তরল লই, যাহা জলে মিশ্রণীয় নহে। 10G চিত্রে দুইমুখ-খোলা একটি লম্বা 'U' আকৃতির নল খাড়াভাবে বসানো আছে এবং এই নলটির দুই বাহুর গায়ে দুইটি স্কেল সংলগ্ন আছে। মনে কর, এই U' নলটির সাহায্যে আমরা যে তরলের ঘনত্ব বা আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিব উহা জল অপেক্ষা ভারী এবং জলে মিশ্রণীয় নহে।

কার্যপদ্ধতি ঃ এখন 'U' নলের মধ্যে পরীক্ষাধীন তরল এরূপ পরিমাণে লও যাহাতে নলের বাঁকা অংশ পূর্ণ করিয়াও দুই বাহুর কিছুদূর পর্যন্ত তরল বিস্তৃত হয়। অতঃপর A বাহুতে এমন পরিমাণ জল ঢাল যাহার ফলে A বাহুর মধ্যে জলস্তম্ভের চাপে A বাহুতে তরলের তল নীচু হইয়া C তে আসিয়া পৌছায় এবং B বাহুর তরলের তল উর্ধ্বে উঠিয়া D তে পৌছায়।



চিত্র 10G

গণনা ঃ চিত্রদৃষ্টে A বাহুতে জল এবং তরল উভয়ের সাধারণ তল C। এখন C হইতে একটি অনুভূমিক রেখা কল্পনা কর। মনে কর, সাধারণ তল C হইতে A বাহুর জলস্তম্ভের উচ্চতা h_1 cm. এবং ঐ অনুভূমিক রেখা হইতে B বাহুর তরলস্তম্ভের উচ্চতা h_2 cm.। যেহেতু দুই বাহুর তরলস্তম্ভ স্থির অবস্থায় রহিয়াছে এবং বাহিরের বাতাসের চাপ উভয় তরলের উপর সমান। সুতরাং,

B বাহুর তরলস্তম্ভের চাপ $=$ A বাহুর জলস্তম্ভের চাপ।

$\therefore \quad h_2 . d . g = h_1 . g$ (এখানে তরলের ঘনত্ব $= d$ in C. G. S. এবং জলের ঘনত্ব = একক in C. G. S.)

সুতরাং, আমরা দেখিতে পাই

$$d = \frac{h_1}{h_2}.$$

যেহেতু ঘনত্ব (d) in C. G. S = আপেক্ষিক গুরুত্ব (S)

সুতরাং, $d = S = \frac{h_1}{h_2}.$

উদাহরণ। একটি 'U' নলের এক বাহুতে পারদ এবং অপর বাহুতে তরল রাখা হইল। পারদ এবং তরলের সাধারণ তল হইতে তরলস্তম্ভের উচ্চতা 28 cms. এবং পারদস্তম্ভের উচ্চতা 3 cms.। পারদের ঘনত্ব 13·6 gms./c.c হইলে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত তাহা নির্ণয় কর। (Mercury (density 13·6 gms./c.c.) and a liquid are placed in the limbs of a 'U' tube and the surfaces of the mercury and the liquid are at 3 cms. and 28 cms. respectively from their common surface. Find the sp. gravity of the liquid.)

10H চিত্রে dot-চিহ্নিত রেখা দ্বারা তরল দুইটির সাধারণ তল দেখানো হইল।

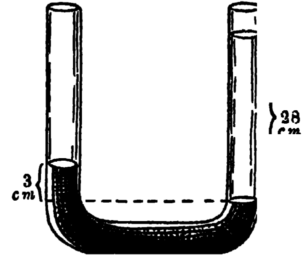
এক্ষেত্রে তরলস্তম্ভের উচ্চতা $h_2 = 28$ cms.

পারদস্তম্ভের উচ্চতা $h_1 = 3$ cms.

সুতরাং, পারদের তুলনায় তরলের ঘনত্ব

$$\rho = \frac{h_1}{h_2}$$

$$= \frac{3}{28}.$$



চিত্র 10H

সুতরাং, তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$S = \rho \times$ পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{3}{28} \times 13{\cdot}6$$

$= 1{\cdot}45$ (আনুমানিক)।

10·13. 'U' নলের সাহায্যে দুইটি তরলের আপেক্ষিক ঘনত্ব বা আপেক্ষিক গুরুত্বের তুলনা: সাধারণতঃ পরীক্ষাধীন তরল দুইটি পরস্পর মিশ্রণীয় নহে এইরূপ ধরনের তরল ধরিয়া লই। এই তরল দুইটি 'U'-নলে লইয়া (10.12) অনুচ্ছেদে বর্ণিত পরীক্ষাটির পুনরাবৃত্তি কর।

মনে কর, তরল দুইটির মধ্যে একটি তরলের ঘনত্ব d_1 (in C.G.S.) এবং অপর, তরলটির ঘনত্ব d_2 (in C. G. S.)। আমরা এই তরল দুইটির নাম যথাক্রমে A এবং B রাখিলাম।

মনে কর, A তরলস্তম্ভের উচ্চতা $= h_1$ cms.

এবং B তরলস্তম্ভের উচ্চতা $= h_2$ cms.

সুতরাং, A তরলস্তম্ভের চাপ $= h_1 d_1 g.$

এবং B তরলস্তম্ভের চাপ $= h_2 d_2 g.$

যেহেতু সামগ্রিক তরল স্থির অবস্থায় আছে

সুতরাং, $h_1 d_1 g = h_2 d_2 g,$

সুতরাং, $\frac{d_1}{d_2} = \frac{h_2}{h_1}.$

কাজেই, আমরা দেখিতে পাইতেছি, এই সমীকরণ দ্বারা তরল দুইটির ঘনত্বের তুলনা করা হইল। (স্মরণ রাখিবে, এই সমীকরণ তাপবিজ্ঞানের 4·6 অনুচ্ছেদে ব্যবহৃত হইয়াছে।)

আবার, যেহেতু ঘনত্ব in C. G. S. = আপেক্ষিক গুরুত্ব

স্থতরাং, $\frac{d_1}{d_2} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{h_2}{h_1}$.

উপরোক্ত তুইটি সমীকরণ অনুযায়ী আমরা দেখিতে পাই, তুই বাহুতে তরলস্তম্ভের উচ্চতা তরলের ঘনত্ব বা আপেক্ষিক গুরুত্বের ব্যস্তানুপাতিক।

উদাহরণ। একটি 'U' নলের এক বাহুতে 50 cms. উচ্চতার জল-স্তম্ভ ঐ নলের অপর বাহুর 62·5 cms. উচ্চতার কোহল অথবা 40 cms. উচ্চতার গ্লিসারিন-স্তম্ভের সহিত ভারসাম্য রক্ষা করিতে পারে। গ্লিসারিন এবং কোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর। 50 cms. উচ্চতার কোহল-স্তম্ভ কত উচ্চতার গ্লিসারিন-স্তম্ভের সহিত ভারসাম্য রক্ষা করিতে পারে তাহাও নির্ণয় কর।

(In a 'U' tube a column of water 50 cms. high balances a column of alcohol 62·5 cms. high or a column of glycerine 40 cms. high. Calculate the sp. gr. of alcohol and glycerine. Also calculate the height of a glycerine column which will balance a column of alcohol 50 cms. high.)

উত্তর। কোহলের আঃ গুঃ $S_1 = \frac{\text{জল-স্তম্ভের উচ্চতা}}{\text{কোহল-স্তম্ভের উচ্চতা}}$

$$= \frac{50}{62{\cdot}5} = {\cdot}8.$$

আবার গ্লিসারিনের আঃ গুঃ $S_2 = \frac{\text{জল-স্তম্ভের উচ্চতা}}{\text{গ্লিসারিন-স্তম্ভের উচ্চতা}}$

$$= \frac{50}{40} = 1{\cdot}25.$$

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব = বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব।

∴ কোহলের ঘনত্ব $d_1 = {\cdot}8$ gm./c.c.

এবং গ্লিসারিনের ঘনত্ব $d_2 = 1{\cdot}25$gms./c.c.

যখন কোহল-স্তম্ভের উচ্চতা = 50 cms.

তখন গ্লিসারিন-স্তম্ভের উচ্চতা = h cms. (মনে কর)।

∴ গ্লিসারিনের স্তম্ভের উচ্চতা × গ্লিসারিনের ঘনত্ব = কোহল-স্তম্ভের উচ্চতা × কোহলের ঘনত্ব।

∴ $h \times d_2 = 50 \times d_1$.

স্থতরাং, $h = \frac{d_1}{d_2} \times 50 = \frac{{\cdot}8 \times 50}{1{\cdot}25} = 32$ cms.

10·14. সাধারণ পরীক্ষা দ্বারা জলে ভাসমান সুষম আকারের (regular shape) কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ঃ মনে কর, এক্ষেত্রে সুষম আকৃতির কঠিন পদার্থ একটি কাঠের ঘনক (cube) অথবা একটি প্যারাফিনের ঘনক। উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে। এই ঘনকটির দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা প্রত্যেকটি l cm.। এখন ঘনকটিকে জলের মধ্যে ভাসাও। উহা আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় জলে ভাসিবে।

এখন, একটি স্কেলের সাহায্যে ঘনকটির জলের উপরিস্থিত অংশের উচ্চতা নির্ণয় কর। মনে কর, উহা l_1 cm.। সুতরাং, ঘনকটির জলে নিমজ্জিত অংশের উচ্চতা $(l-l_1)$ cm.।

মনে কর, ঘনকটির ওজন W gm.

এখন ভাসন-নীতি অনুযায়ী,

ঘনকটির ওজন = ঘনকটির নিমজ্জিত অংশ দ্বারা অপসারিত জলের ওজন।

এখন ঘনকটির ওজন W = উহার আয়তন (l^3) × ঘনত্ব (d) × অভিকর্ষজ ত্বরণ (g)

$= l^3 \times d \times g$ dynes

$= l^3 \times d$ gm. wt. $= l^3 \times S$ gm. wt.

$(\because d$ in C. G. S. $= S)$

এক্ষেত্রে অপসারিত জলের আয়তন $=(l-l_1)\times l^2$.

সুতরাং, অপসারিত জলের ওজন $=(l-l_1)\times l^2$ gm. wt.

এখন ভাসন-নীতি হিসাবে বস্তুর ওজন = বস্তুর নিমজ্জিত অংশদ্বারা অপসারিত জলের ওজন

সুতরাং, $l^3\ S=(l-l_1)\times l^2$.

অতএব, $S=\frac{(l-l_1)\times l^2}{l^3}=\frac{(l-l_1)}{l}$.

উদাহরণ। (1) 22 c.c. আয়তনের একটুকরা মোমকে জলে ভাসাইলে উহা 2 c.c. জলের উপরে থাকে। মোমের ওজন এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

[*H. S.*]

(A piece of wax 22 c.c. in volume floats in water with 2 c.c. above the surface of water. Find the weight of the piece of wax and the sp. gr. of wax.)

উত্তর। মোমের জলে নিমজ্জিত অংশের আয়তন $V=(22-2)=20$ c.c.

সুতরাং, মোমের নিমজ্জিত অংশদ্বারা অপসারিত জলের ওজন = 20 gms.

সুতরাং, ভাসন-নীতির শর্ত অনুসারে মোমখণ্ডের ওজন = 20 gms.

∵ C. G. S. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব = উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব

∴ ঘনত্ব $= S = \frac{20}{22} = {}^{\cdot}91$ (আনুমানিক)।

(2) একটি ফাঁপা চোঙের তলদেশের ক্ষেত্রফল 4 sq . cms.। উহার মধ্যে কিছু পরিমাণ বস্তু সংরক্ষিত করা হইল যাহাতে চোঙটি জলের মধ্যে 8 cms. নিমজ্জিত অবস্থায় এবং কোহলের মধ্যে 10 cms. নিমজ্জিত অবস্থায় ভাসিয়া থাকিতে পারে। বস্তুসহ চোঙটির ওজন এবং কোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত হইবে তাহা নির্ণয় কর। আবার 1·02 gms./c.c. ঘনত্বের লবণজলে ঐ চোঙটি কত গভীরতা পর্যন্ত নিমজ্জিত হইবে তাহাও নির্ণয় কর। (A hollow cylindrical tube whose area of the bottom is 4 sq. cms. is weighted so by placing some quantity of substance within the cylinder that it can sink to a depth of 8 cms. in water and 10 cms. in alcohol. What is the weight of the tube with its contents and what is the specific gravity of alcohol ? To what depth would the tube sink in salt water of density 1·02 gms./c.c. ?)

উত্তর। চোঙটির সামগ্রিক ওজন $= W$ (মনে কর)।

" তলদেশের ক্ষেত্রফল $A = 4$ sq. cms.

চোঙটির জলে নিমজ্জিত অংশের গভীরতা $h_1 = 8$ cms.,

" কোহলে " " " $h_2 = 10$ cms.

এবং " লবণজলে " " " $h_3 = ?$

মনে কর, সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব $= d_1$,

" " কোহলের ঘনত্ব $= d_2$,

এবং " " লবণজলের ঘনত্ব $= d_3$.

এখন ভাসন-নীতির শর্ত হিসাবে, চোঙটি যখন জলে ভাসানো হয় তখন চোঙটির সামগ্রিক ওজন W = চোঙটির নিমজ্জিত অংশদ্বারা অপসারিত জলের ওজন

$= h_1 \times A \times d_1$ gm. wt.

$= 8 \times 4$ (∵ জলের ঘনত্ব 1 in C.G.S.)

$= 32$ gms. wt.

এবং যখন কোহলে ভাসানো হয় তখন

$W = h_2 \times A \times d_2$ gms. wt. $= 32$ gms. wt.

$$\therefore \quad d_2 = \frac{32}{h_2 \times A}$$

$$=\frac{32}{10\times 4}$$

$= \cdot 8$ gm./c. c.

সুতরাং, কোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \cdot 8$.

আবার যখন লবণজলে ভাসানো হয় তখন

$$W = h_3 \times A \times d_3 = 32 \text{ gms. wt.}$$

$$\therefore \quad h_3 = \frac{32}{A \times d_3}$$

$$= \frac{32}{4 \times 1\cdot 02}$$

$= 7\cdot 843$ cms.

কয়েকটি পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্বের তালিকা

পদার্থ (কঠিন)	আপেক্ষিক গুরুত্ব	পদার্থ (কঠিন)	আপেক্ষিক গুরুত্ব	পদার্থ (তরল)	আপেক্ষিক গুরুত্ব
পিতল (Brass)	8·6	ঢালাই লোহা (Cast Iron)	7·2	সমুদ্রের জল (Sea water)	1·03
তামা (Copper)	8·93	মার্বেল (Marble)	2·6	পারদ (Mercury)	13·6
সোনা (Gold)	19·32	সাধারণ কাচ (Ordinary glass)	2·5	তার্পিন তেল (Turpentine)	·87
সীসা (Lead)	11·37	বরফ (Ice)	·917	গ্লিসারিন (Glycerine)	1·26
প্লাটিনাম (Platinum)	21·5	ফট্‌কিরি (Alum)	1·76	কেরোসিন তেল (Kerosene oil)	·8
রূপা (Silver)	10·5	চিনি (Sugar)	1·59	প্যারাফিন (Paraffin)	·76
				দুধ (Milk)	1·03

বিবিধ উদাহরণ। (1) একটি বস্তুর জলে ওজন 34·5 gms. এবং অপর একটি তরলে বস্তুর ওজন 35·6 gms.। তরলটির আপেক্ষিক গুরুত্ব ·8 হইলে বস্তুটির ওজন, উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং তরলের তুলনায় বস্তুটির আপেক্ষিক ঘনত্ব নির্ণয় কর। (A body weighs in water 34·5 gms. and it weighs 35·6 gms. in a liquid of sp. gravity of ·8. Calculate the weight of the body, its

sp. gravity and relative density of the body with regard to the liquid.)

উত্তর। মনে কর, বস্তুর ওজন W_1

বস্তুর জলে ওজন $W_2 = 34 \cdot 5$ gms.

অপর একটি তরলে বস্তুর ওজন $W_3 = 35 \cdot 6$ gms.

ঐ তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $S_2 = \cdot 8$.

মনে কর, তরলের তুলনায় বস্তুর আপেক্ষিক ঘনত্ব $= \rho$, এবং মনে কর, বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব $= S_1$.

এক্ষেত্রে, $$S_1 = \frac{W_1}{W_1 - W_2} = \frac{W_1}{W_1 - 34 \cdot 5}$$

$$\rho = \frac{W_1}{W_1 - W_3} = \frac{W_1}{W_1 - 35 \cdot 6},$$

10·4 অনুচ্ছেদের ফরমূলা অনুযায়ী

$$S_1 = \rho \times S_2$$

সুতরাং, $$\frac{W_1}{W_1 - 34 \cdot 5} = \frac{W_1}{W_1 - 35 \cdot 6} \times \cdot 8$$

অথবা, $$\frac{1}{W_1 - 34 \cdot 5} = \frac{\cdot 8}{W_1 - 35 \cdot 6}.$$

অথবা, $W_1 - 35 \cdot 6 = \cdot 8 W_1 - 27 \cdot 6,$

অথবা, $\cdot 2 W_1 = 35 \cdot 6 - 27 \cdot 6 = 8.$

সুতরাং, $W_1 = \frac{8}{\cdot 2} = 40$ gms.

সুতরাং, $S_1 = \frac{40}{40 - 34 \cdot 5} = \frac{40}{5 \cdot 5} = 7 \cdot 27$ (আনুমানিক)।

এখন $S_1 = \rho \times S_2$.

সুতরাং, $\rho = \frac{S_1}{S_2} = \frac{7 \cdot 27}{\cdot 8} = 9 \cdot 087.$

(2) ·9 আপেক্ষিক গুরুত্বের 10 gms. খনিজ মোমের সহিত ·96 আপেক্ষিক গুরুত্বের 15 gms. মৌচাকের মোম গলাইয়া মিশ্রিত করা হইল। যখন এই মিশ্রিত পদার্থ কঠিন হয় তখন উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং ঘনত্ব নির্ণয় কর। (10 gms. of parffin wax of sp. gr. ·9 are melted with 15 gms. of bees wax of sp. gr. ·96. Calculate the sp. gr. and density of mixture when it is solidified.)

উত্তর। খনিজ মোমের আঃ গুরুত্ব $= S_1 = \cdot 9$

সুতরাং, উহার ঘনত্ব $d_1 = \cdot 9$ gm./c.c.

আবার মৌচাক-মোমের আঃ গুরুত্ব $= S_2 = \cdot 96$

সুতরাং, উহার ঘনত্ব $d_2 = \cdot 96$ gm./c.c.

এখন খনিজ মোমের কঠিন অবস্থায় আয়তন

$$v_1 = \frac{10 \text{ gms.}}{d_1} = \frac{10 \text{ gms.}}{S_1} = \frac{10}{\cdot 9} \text{ c.c.}$$

অনুরূপভাবে মৌচাক-মোমের কঠিন অবস্থায় আয়তন $v_2 = \frac{15}{\cdot 96}$ c.c.

সুতরাং, কঠিন অবস্থায় উহাদের সামগ্রিক আয়তন

$$V = v_1 + v_2 = \frac{10}{\cdot 9} + \frac{15}{\cdot 96} = \frac{9\cdot 6 + 13\cdot 5}{\cdot 864} = \frac{23\cdot 1}{\cdot 864} \text{ c.c.}$$

সুতরাং, মিশ্রিত মোমের কঠিন অবস্থায় আয়তন

$$V = \frac{23\cdot 1}{\cdot 864} = 26\cdot 736 \text{ c.c. (আনুমানিক)}$$

এবং মিশ্রিত মোমের কঠিন অবস্থায় ওজন বা ভর

$$W = (10 + 15) \text{ gms.} = 25 \text{ gms.}$$

সুতরাং, মিশ্রিত মোমের ঘনত্ব $D = \frac{W}{V} = \frac{25}{26\cdot 736} = \cdot 935$ gm./c.c.

যেহেতু আপেক্ষিক গুরুত্ব = ঘনত্ব in c.g.s.

সুতরাং, উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব $S = \cdot 935$.

(3) 1·8 আপেক্ষিক গুরুত্বের 54 gms. সাল্ফিউরিক অ্যাসিডের সহিত 36 gms. জল মিশ্রিত করিলে ঐ জলমিশ্রিত অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব দাঁড়ায় 1·5। এক্ষেত্রে জলমিশ্রিত অ্যাসিডের আয়তনের সঙ্কোচন কত তাহা নির্ণয় কর। (A volume of sulphuric acid of sp. gr. 1·8 weighs 54 gms. and is added slowly to 36 gms. of water. The sp. gr. of the diluted acid is found to be 1·5. Find the contraction in total volume when the acid is added to the water.)

উত্তর। যেহেতু C. G. S. পদ্ধতিতে ঘনত্ব সংখ্যা-গণনায় (numerically) আপেক্ষিক গুরুত্বের সমান,

অতএব, সাল্ফিউরিক অ্যাসিডের আয়তন $v_1 = \frac{54}{1\cdot 8}$ c.c. = 30 c.c.

এবং 36 gms. জলের আয়তন $v_2 = 36$ c.c.

সুতরাং, জল এবং অ্যাসিড এই দুয়ের সামগ্রিক আয়তন $= 30 + 36 = 66$ c.c.

এবং সাল্‌ফিউরিক অ্যাসিড এবং জলের সামগ্রিক ওজন

$$W = (54 + 36) \text{ gms.} = 90 \text{ gms.}$$

স্মরণ রাখিতে হইবে, জল এবং সাল্‌ফিউরিক অ্যাসিড মিশ্রিত হইলেও ওজন একই থাকিবে।

সুতরাং, জলমিশ্রিত সাল্‌ফিউরিক অ্যাসিডের আয়তন $V = \frac{90}{1 \cdot 5} = 60$ c.c.

সুতরাং, জলমিশ্রিত সাল্‌ফিউরিক অ্যাসিডের আয়তনের সঙ্কোচন

$$= 66 - 60 = 6 \text{ c.c.}$$

সারাংশ

আপেক্ষিক গুরুত্ব : নির্দিষ্ট আয়তনের কোন বস্তুর ওজন তাহার সম-আয়তন কোন প্রমাণ বস্তুর ওজনের অনুপাতে যত-সংখ্যক গুণ ভারী তাহাই নির্দেশ করে ঐ বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব।

কঠিন এবং তরল পদার্থের ক্ষেত্রে 4° সেণ্টিগ্রেড তাপমাত্রার বিশুদ্ধ জলকে এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে সাধারণ তাপমাত্রা এবং সাধারণ চাপের হাইড্রোজেন গ্যাসকে প্রমাণ বস্তু হিসাবে ধরা হয়।

সুতরাং, কঠিন এবং তরল পদার্থের ক্ষেত্রে

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব } S = \frac{\text{কোন নির্দিষ্ট আয়তনের বস্তুর ওজন}}{\text{উহার সম-আয়তন প্রমাণ জলের ওজন}}$$

সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে সংখ্যা-গণনায় (numerically)

বস্তুর ঘনত্ব = আপেক্ষিক গুরুত্ব

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে সংখ্যা-গণনায় (numerically)

বস্তুর ঘনত্ব $= S \times 62 \cdot 5$.

কঠিন এবং তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের পদ্ধতি :

(1) উদস্থৈতিক তুলার সাহায্যে, (2) নিকল্‌সন হাইড্রোমিটার যন্ত্রের সাহায্যে, (3) আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে, (4) হেয়ার যন্ত্রের সাহায্যে, (5) 'ইউ' আকৃতি নলের সাহায্যে এবং (6) ভাসন-নীতির সাহায্যে।

ব্যাটারি হাইড্রোমিটার এবং ল্যাক্টোমিটার সাধারণ হাইড্রোমিটারের রূপান্তর মাত্র। উহাদের প্রথমটির সাহায্যে ব্যাটারির অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং দ্বিতীয়টির সাহায্যে দুধে জল মিশানো থাকে কিনা তাহা নির্ণয় করা হয়।

প্রশ্নমালা

1. কঠিন এবং তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা লিখ। বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং ঘনত্বের মধ্যে সম্পর্ক বুঝাইয়া দাও। (Define specific gravity of a solid and of a liquid. Explain the relation between specific gravity and density.)

2. জলে দ্রবণীয় এবং জল অপেক্ষা ভারী কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব কি প্রকারে পরীক্ষার দ্বারা নির্ণয় করিবে? (How would you experimentally determine the specific gravity of a solid soluble in water and heavier than water ?)

3. জলে অদ্রবণীয় এবং জল অপেক্ষা হাল্‌কা কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব কি প্রকারে পরীক্ষার দ্বারা নির্ণয় করিবে? (How would you experimentally determine the specific gravity of a solid insoluble in water and lighter than water ?)

4. একটুকরা কাচের বাতাসে ওজন 4·5 gms. এবং জলে ওজন 2·5 gms.। যখন এই কাচ-টুকরাটিকে কেরোসিন তেলে ডোবানো হয় তখন উহার আপাত-ওজন কত হইবে তাহা নির্ণয় কর। কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব ·8। (A piece of glass weighs 4·5 gms. in air and 2·5 gms. when immersed in water. What would be its apparent weight when immersed in kerosene, being given that specific gravity of kerosene = ·8 ?)

[Dacca 1928] [*Ans.* 2·9 gms.]

5. একটি জলপূর্ণ কাচের ফ্লাস্কের ওজন 75 gms.। যখন ঐ ফ্লাস্কটিকে পারদপূর্ণ করা হয় (পারদের ঘনত্ব 13·6 gms./c.c.) তখন উহার ওজন হয় 705 gms. এবং যখন উহাকে সাল্‌ফিউরিক অ্যাসিডে পূর্ণ করা হয় তখন উহার ওজন হয় 117 gms.। অ্যাসিডের ঘনত্ব নির্ণয় কর। (A flask when full of water weighs 75 gms., when full of mercury of density 13·6 gms./c.c., it weighs 705 gms. and when full of sulphuric acid, it weighs 117gms. Find the density of the acid.) [C. U. 1952] [*Ans.* 1·83 gms./c.c.]

6. মেট্রিক পদ্ধতি এবং ব্রিটিশ পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব কি?

একটুকরা কর্কের ওজন 19 gms.। উহাকে 63 gms. ওজনের একখণ্ড রূপার সঙ্গে বাঁধিয়া দিলে উভয়ই একত্রে জলে কেবল ভাসিয়া থাকিতে পারে। রূপার আপেক্ষিক গুরুত্ব 10·5। কর্কের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

(What is the density of water in the metric system and in the British system ?

A piece of cork whose weight is 19 gms. is attached to a bar of silver weighing 63 gms. and the two together just float in water. The specific gravity of silver is 10·5. Find the sp. gravity of cork.) [*Ans.* 0·25]

[*Hints*—ভাসন-নীতির 9·5 (3) অনুচ্ছেদ দেখিয়া লও।

$$\frac{19}{S}+\frac{63}{10 \cdot 5}=82 \;]$$

7. একটি নিকল্‌সন হাইড্রোমিটার বর্ণনা কর। ইহার সাহায্যে কি প্রকারে একটি তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিবে তাহা বুঝাইয়া দাও।

একটি হাইড্রোমিটারের উপর-পাত্রে 60·3 gms. ওজন চাপাইলে হাইড্রোমিটারটি জলে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডোবে এবং 6·8 gms. ওজন চাপাইলে উহা কোহলে একই দাগ পর্যন্ত ডোবে। যদি হাইড্রোমিটারটির ওজন 200 gms. হয় তাহা হইলে কোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত?

(Describe a Nicholson's Hydrometer and explain how you would determine the sp. gravity of a liquid with its help.

60·3 gms. have to be placed on the upper pan of a hydrometer to sink it up to the mark in water and 6·8 gms. only in alcohol. If the Hydrometer weighs 200 gms. what is the sp. gravity of alcohol ?) [C. U. 1931] [*Ans.* 0·794]

8. আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে কি প্রকারে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে পার তাহা বুঝাইয়া দাও। (Explain how you would determine the sp. gravity of a solid by sp. gravity bottle.)

[C. U. 1934]

9. একখণ্ড ফট্‌কিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব পরীক্ষার দ্বারা কি ভাবে নির্ণয় করিতে পার তাহা সবিস্তারে বর্ণনা কর। (Describe in detail how the sp. gravity of a block of alum can be experimentally determined.) [C. U. 1936]

10. আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের সাহায্যে কি প্রকারে কেরোসিন-জাতীয় তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে পারা যায় তাহা বুঝাইয়া দাও। (Explain how to determine the sp. gravity of a liquid like kerosene by means of a sp. gravity bottle.) [Dacca 1928]

11. খালি অবস্থায় একটি আপেক্ষিক গুরুত্ব বোতলের ওজন 14·72 gms., জলপূর্ণ অবস্থায় উহার ওজন 39·74 gms. এবং লবণগোলা জলপূর্ণ অবস্থায় বোতলের ওজন 44·15 gms.। ঐ লবণগোলা জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব কত? (A sp. gravity bottle weighs 14·72 gms. when empty, 39·74 gms. when filled with water and 44·15 gms. when filled with a solution of common salt. What is the sp. gravity of the salt solution ?) [*Ans.* 1·176]

12. একটি হেয়ার যন্ত্রের বিবরণ এবং উহার ব্যবহার লিখ। হেয়ার যন্ত্রের দ্বারা পরীক্ষায় দেখা গেল তুঁতে-গোলা জল-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য 20 cms. এবং জল-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য 22 cms.। ঐ তুঁতে-গোলা জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর।

(Describe and indicate the use of Hare's Apparatus.

In an experiment with a Hare's apparatus the lengths of the copper sulphate solution column and that of water column are found to be 20 cms. and 22 cms. respectively Calculate the sp. gravity of copper sulphate solution.) [C. U. 1943] [*Ans.* 1·1]

13. একটি 'U' নলের তলদেশে কিছু পারদ রাখিয়া উহার এক বাহুতে জল এবং অপর বাহুতে কেরোসিন তেল এরূপভাবে ঢালা হইল যে, পারদের তল উভয় বাহুতে একই লেভেলে অবস্থান করে। জল-স্তম্ভ এবং কেরোসিন-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 7·2 cms. এবং 9·0 cms.। কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর। (A 'U' tube contains some mercury at the bottom. Water is poured into one limb and kerosene oil into the other. Mercury stands at the same level in both the limbs when the heights of the column of water and oil are 7·2 cms. and 9·0 cms. respectively. Find the sp. gravity of kerosene.) [*Ans.* 0·8]

14. 1·1 আপেক্ষিক গুরুত্বের 20 c.c. *A* তরলের সহিত ·8 আপেক্ষিক গুরুত্বের 25 c.c. *B* তরল মিশ্রিত করা হইল। এই মিশ্রিত তরলের ঘনত্ব এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় কর। (20 c.c. of liquid *A* of sp. gr. 1·1 is mixed with 25 c.c. of liquid *B* of sp. gr. ·8. Calculate the density and sp. gravity of the resulting mixture.) [*Ans.* ·93 gm./c.c. ; ·93]

15. একটি বস্তুর বাতাসে ওজন 30 gms. এবং জলের মধ্যে উহার ওজন 25 gms., কোহলে ঐ বস্তুর ওজন কত হইবে তাহা নির্ণয় কর। (কোহলের আপেঃ গুরুত্ব ·8) (A body weighs 30 gms. in air and 25 gms. in water. Calculate its weight in alcohol of specific gravity ·8.) [*Ans.* 26 gms.]

একাদশ পরিচ্ছেদ

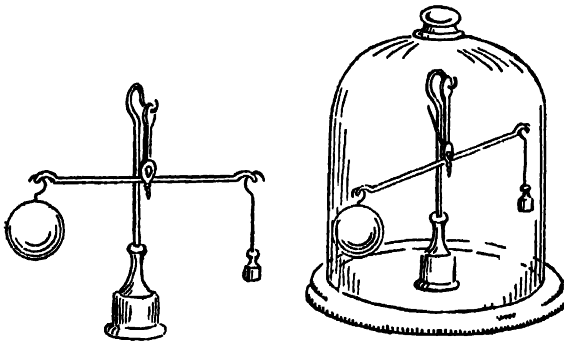
তরল এবং গ্যাসীয় পদার্থের সাধারণ ধর্মের সাদৃশ্য

11·1. আর্কিমিদিস-সূত্র—তরলের ন্যায় আর্কিমিদিস-সূত্র বাতাস এবং অন্যান্য গ্যাসের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য।

সাধারণতঃ কোন বস্তুকে আমরা বাতাসে রাখিয়া ওজন করি। কিন্তু বস্তুকে এইরূপে ওজন করিলে উহার প্রকৃত ওজন পাওয়া যায় না। কেননা তরলের ন্যায় বস্তুটিকে বাতাসে ওজন করিলে আর্কিমিদিস সূত্র হিসাবে উহার ওজনের আপাত-হ্রাস হয় এবং এই ওজনের হ্রাসের পরিমাণ বস্তুর সম-আয়তন বাতাসের ওজনের সমান। কিন্তু বাতাস এতই হাল্‌কা যে এই সম আয়তন বাতাসের ওজন বস্তুর প্রকৃত ওজনের তুলনায় অতি নগণ্য। কাজেই অনেক ক্ষেত্রে বস্তুর বাতাসে ওজনই প্রকৃত ওজন বলিয়া ধরিয়া লই।

11·2. ব্যারোস্কোপ (Baroscope) পরীক্ষা: এই পরীক্ষার দ্বারা বাতাস এবং অন্যান্য গ্যাসের ক্ষেত্রে আর্কিমিদিস-সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করিতে পারা যায়।

11A চিত্রে একটি ব্যারোস্কোপ যন্ত্র দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি বিশেষ আকারের তুলাযন্ত্র। এই যন্ত্রের তুলাদণ্ডটির বামপ্রান্তে একটি ফাঁপা কাচের গোলক ঝুলানো আছে এবং এই গোলকটিকে ভারসাম্য করিবার জন্য তুলাদণ্ডের ডানপ্রান্তে উপযুক্ত পরিমাণ পিতল অথবা সীসার বাটখারা (Counterpoising weight) সংযুক্ত আছে। এইরূপ করার ফলে তুলাদণ্ডটি বাতাসে অনুভূমিক থাকে।



চিত্র 11A

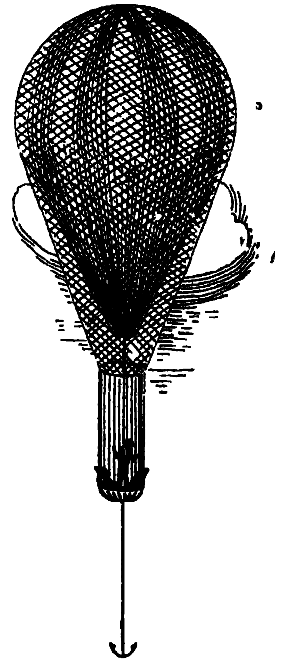
ঐ তুলাযন্ত্রটিকে একটি বায়ু-নিষ্কাশক পাম্পের আধারের (Receiver of an exhaust pump) মধ্যে স্থাপন কর এবং পাম্প চালাইয়া ঐ আধারটি বায়ুশূন্য করিতে থাক। দেখিতে পাইবে তুলা-সংলগ্ন কাচের গোলকটি ক্রমশঃ নীচের দিকে ঝুঁকিয়া

যাইতেছে (চিত্রে দ্রষ্টব্য)। ইহা দ্বারা আমরা বুঝিতে পারি যে, তুলাদণ্ডের ডানপ্রান্ত-সংলগ্ন যে বাটখারা বাতাসে কাচ-গোলকটির ভারসাম্য রক্ষা করিতেছিল তাহা বায়ুশূন্য স্থানে ঐ গোলকের ভারসাম্যের পক্ষে যথেষ্ট নয়। অর্থাৎ বায়ুশূন্য স্থানে গোলকটির ওজন বৃদ্ধি পাইযাছে। বায়ুশূন্য স্থানে এই ওজনই বস্তুর প্রকৃত ওজন।

উপরের পরীক্ষা দ্বারা আমরা দেখিতে পাই যে, বায়ু ও অন্যান্য গ্যাসে কোন বস্তুর ওজন উহার প্রকৃত ওজন অপেক্ষা কম হয।

11·3. বায়ুর প্লবতার কয়েকটি দৃষ্টান্ত (Some illustrations of Buoyancy of air) :

(ক) **একটি বেলুনের বাতাসে উঠা, নামা এবং স্থির অবস্থায় থাকা**—11B চিত্রে একটি বেলুন দেখানো হইল। ইহা হাল্‌কা গ্যাস দ্বারা ভর্তি (সাধারণতঃ হাইড্রোজেন গ্যাস) একটি বৃহদাকারের সিল্কের থলি (Bag)। ঐ থলির বাহিরের পৃষ্ঠ এমনভাবে বার্নিশ-করা থাকে যাহাতে উহার ভিতরের গ্যাস বাহিরে যাইতে কিংবা বাহিরের বাতাস থলির মধ্যে প্রবেশ করিতে না পাবে। থলিটির তলদেশে দৃঢ়ভাবে দড়ির সাহায্যে যাত্রী বসিবার জন্য একটি আসন ঝুলানো থাকে এবং ঐ আসনের উপর উপযুক্ত পরিমাণ ওজনও চাপানো থাকে। ইহার ফলে বেলুনটি স্ফীত অবস্থায বাতাসে খাড়াভাবে স্থির হইয়া থাকিতে পারে।



চিত্র 11B

বেলুন যখন উপরের দিকে উঠিতে থাকে তখন বাতাসের প্লবতা বেলুনের সামগ্রিক ওজন অপেক্ষা অধিক। অর্থাৎ বেলুনের সম-আয়তন বাতাসের ওজন বেলুনের সামগ্রিক ওজন অপেক্ষা অধিক।

বেলুন যখন নীচের দিকে নামিয়া আসে তখন বুঝিতে হইবে বেলুনের সামগ্রিক ওজন বাতাসের প্লবতা অপেক্ষা অধিক। অর্থাৎ বেলুনের সামগ্রিক ওজন বেলুনের সম-আয়তন বাতাসের ওজন অপেক্ষা অধিক।

বেলুন যখন স্থির অবস্থায় খাড়াভাবে অবস্থান করে তখন বুঝিতে হইবে যে, বেলুনের সামগ্রিক ওজন বাতাসের প্লবতার সমান। অর্থাৎ বেলুনের সামগ্রিক ওজন উহার সম-আয়তন বাতাসের ওজনের সমান।

(খ) **বাতাসের ওজন সম্পর্কে ভল্‌টেয়ারের (Voltaire) ভ্রমাত্মক সিদ্ধান্ত**—বাতাসের ওজন আছে কিনা তাহা স্থির করিবার জন্য ভল্‌টেয়ার একটি নমনীয় পাতলা রবারের ব্লাডারকে (Bladder) বায়ুপূর্ণ ও বায়ুশূন্য করিয়া ওজন লইয়া দেখিলেন যে, এই দুই ওজন প্রায় সমান। সুতরাং তিনি সিদ্ধান্ত করিলেন বাতাসের ওজন নাই। ভল্‌টেয়ারের এই সিদ্ধান্তটি ভুল ছিল, কেননা তিনি ঐ সময় বাতাসের প্লবতা হিসাবে ধরেন নাই। ব্লাডারটি বায়ুপূর্ণ করিলে উহা স্ফীত হয়। এই স্ফীত অবস্থায় ব্লাডারটির অভ্যন্তরের বায়ুর আয়তন এবং ব্লাডারটি দ্বারা অপসারিত বাহিরের বায়ুর আয়তন একরূপ সমান। সুতরাং বায়ুপূর্ণ করিলে ব্লাডারটির ওজন যতটা বাড়িবে বাহিরের বায়ুর প্লবতার জন্য উহার ওজন ততটা কমিবে। সুতরাং ভল্‌টেয়ার যে ওজন পাইয়াছিলেন তাহা উভয় ক্ষেত্রেই ব্লাডারের ওজন। ব্লাডারের অভ্যন্তরস্থ বাতাসের ওজন এই পদ্ধতি দ্বারা নির্ণয় করা যায় না।

(গ) **এক পাউণ্ড পালকের ওজন এক পাউণ্ড সীসার ওজন অপেক্ষা কম মনে হয়** (A pound of feather seems to weigh less than a pound of lead)—এক পাউণ্ড পালক এবং এক পাউণ্ড সীসা উভয়েরই ভর সমান অথচ পালক সীসা অপেক্ষা হাল্‌কা মনে হয়। এইরূপ হওয়ার কারণ কি? সীসা এবং পালক এই দুইটি বস্তুকে আমরা সাধারণতঃ বাতাসে ওজন করিয়া থাকি। কাজেই উভয় বস্তুর যে ওজন আমরা পাই তাহা উহাদের বাতাসে আপাত-ওজন, উহাদের প্রকৃত ওজন নহে। পালকের ঘনত্ব সীসার ঘনত্ব অপেক্ষা কম। সুতরাং এক পাউণ্ড পালকের আয়তন এক পাউণ্ড সীসার আয়তন অপেক্ষা অধিক। ইহার ফলে বাতাসের প্লবতা-জনিত ওজন-হ্রাস, সীসা অপেক্ষা পালকের ক্ষেত্রে অধিক হইবে। এই কারণে এক পাউণ্ড পালককে এক পাউণ্ড সীসা অপেক্ষা হাল্‌কা মনে হয়। অনুরূপ কারণে এক পাউণ্ড তুলা এক পাউণ্ড লোহা অপেক্ষা হাল্‌কা মনে হয়।

উদাহরণ। একটি বেলুনের ওজন 150 কিলোগ্রাম। বেলুনটির মধ্যে অবস্থিত হাইড্রোজেন গাসের আয়তন 1000 ঘনমিটার। বেলুনটির চারিদিকে বাতাসের ঘনত্ব ·00129 gm./c.c. এবং বেলুনটির অভ্যন্তরে হাইড্রোজেন গ্যাসের ঘনত্ব ·00009 gm./c.c. হইলে বেলুনটি বাতাসে কত অতিরিক্ত ওজন বহন করিতে পারিবে তাহা নির্ণয় কর। (A balloon weighing 150 kgs. contains 1000 cubic metre of hydrogen and is surrounded by air of density ·00129 gm./c.c. Calculate the additional weight it can lift. (Density of hydrogen = ·00009 gm./c.c.) [Patna 1941]

উত্তর। বেলুনটির ওজন = 150 kgs.

বেলুনটির অভ্যন্তরের হাইড্রোজেন গ্যাসের আয়তন

= 1000 ঘনমিটার = 1000 × 100 × 100 × 100

$= 10^9$ ঘন-সে. মি.।

হাইড্রোজেন গ্যাসের ঘনত্ব = ·00009 গ্রাম/ঘন-সে. মি.।

∴ বেলুনের অভ্যন্তরের হাইড্রোজেনের ভর

= উহার আয়তন × ঘনত্ব

$= 10^9 \times {\cdot}00009$

$= 10^9 \times 9 \times 10^{-5}$ গ্রাম

$= 9 \times 10^4$ গ্রাম।

সুতরাং, বেলুনেব অভ্যন্তরস্থ গ্যাসেব ওজন

$= 9 \times 10^4$ গ্রামওযেট

$= \frac{9 \times 10^4}{1000} = 90$ কিলোগ্রামওয়েট।

সুতরাং, বেলুনের সামগ্রিক ওজন = (150 + 90) কিলোগ্রাম

= 240 কিলোগ্রাম।

আবার, বেলুনটির দ্বারা অপসারিত বায়ুর আয়তন

= বায়ুপূর্ণ বেলুনটির আযতন

$= 10^9$ ঘন-সে. মি.।

∴ বেলুনটিব দ্বারা অপসারিত বায়ুর ভর

$= 10^9 \times {\cdot}00129$

$= 10^9 \times 129 \times 10^{-5}$

$= 129 \times 10^4$ গ্রাম।

∴ বেলুনটির দ্বারা অপসারিত বাতাসের ওজন

$= 129 \times 10^4$ গ্রামওয়েট

$= \frac{129 \times 10^4}{1000} = 1290$ কিলোগ্রামওয়েট।

আর্কিমিদিস-সূত্র হিসাবে, বেলুনটির উপর বায়ুর প্রবতা-জনিত ঊর্ধ্বমুখী ঘাত

= 1290 কিলোগ্রাম।

∴ বাতাসে বেলুনটির অতিরিক্ত ওজন বহন করিবার ক্ষমতা

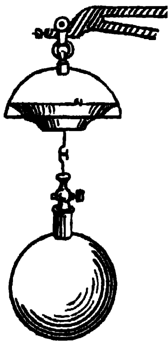
= (1290 − 240) কিলোগ্রাম

= 1050 কিলোগ্রাম।

11·4. গ্যাসের ঘনত্ব (Density of gas) : গ্যাসের ঘনত্ব বলিতে আমরা বুঝি কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের একক আয়তনের ভর। স্মরণ রাখিতে হইবে গ্যাসের এই ঘনত্ব উহার চাপ এবং তাপমাত্রার উপর বিশেষভাবে নির্ভর করে। এই কারণে কোন গ্যাসের ঘনত্ব নির্দেশকালে উহার তাপমাত্রা এবং চাপ উভয়েরই উল্লেখ করা প্রয়োজন। যেমন, যদি বলা হয় বাতাসের ঘনত্ব ·001293 gm./c.c., তাহা হইলে বুঝিতে হইবে বাতাসের সাধারণ চাপ এবং তাপমাত্রায় এই ঘনত্ব নির্দেশিত হইয়াছে। (সাধারণ চাপ বলিতে 76 cms. উচ্চতার পারদস্তম্ভের চাপ এবং সাধারণ তাপমাত্রা বলিতে 0°C তাপমাত্রা বুঝায়।)

আমরা কোন গ্যাস এবং বাষ্পের ঘনত্ব হাইড্রোজেন গ্যাসের ঘনত্বের তুলনায় সাধারণতঃ নির্দেশ করিয়া থাকি। যেমন, আমরা যখন বলিয়া থাকি অক্সিজেন গ্যাসের ঘনত্ব 16 তখন বুঝিতে হইবে ঐ গ্যাসের ঘনত্ব সাধারণ চাপ ও তাপমাত্রায় হাইড্রোজেন গ্যাসের ঘনত্বের তুলনায় 16 গুণ বেশী।

11·5. বায়ুর ঘনত্ব নির্ণয় : একটি মাঝারি আয়তনের (500-1000 c.c.) কাচের গোলাকার পাত্র (round flask) লও যাহার গলায় একটি স্টপ্-কক্ (Stop-cock) লাগানো আছে (11C চিত্রে দেখ)। এই স্টপ্-কক্ ঘুরাইয়া গোলকটির অভ্যন্তরের সহিত বাহিরের যোগাযোগ স্থাপন ও বন্ধ উভয়ই করা চলে। প্রথমতঃ একটি বায়ু-নিষ্কাশক পাম্পের সাহায্যে গোলকটির অভ্যন্তর বায়ুশূন্য কর এবং স্টপ্-কক্ ঘুরাইয়া গোলকের মুখ বন্ধ কর যাহাতে বাহিরের বায়ু গোলকের অভ্যন্তরে প্রবেশ করিতে না পারে। ঐ অবস্থায় একটি তুলার সাহায্যে গোলকটির ওজন লও। মনে কর, বায়ুশূন্য অবস্থায় গোলকের এই ওজন W_1 gm.। এবার স্টপ্-কক্ ঘুরাইয়া গোলকের অভ্যন্তরে বাহিরের বাতাস প্রবেশ করাও এবং পূর্বের ন্যায় গোলকটির ওজন লও। মনে কর, বায়ুপূর্ণ অবস্থায় গোলকটির ওজন W_2 gm.। অতঃপর গোলকটিকে জলপূর্ণ কর এবং পরিশেষে ঐ জল একটি আয়তন-মাপক চোঙের মধ্যে ঢালিয়া উহার আয়তন নির্ণয় কর। জলের এই আয়তনই গোলকের অভ্যন্তরের আয়তনের সমান এবং ইহাই নির্দেশ করে গোলকের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর আয়তন।



চিত্র 11C

গণনা : মনে কর, গোলকের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর আয়তন $= V$ c.c.।

বায়ুশূন্য অবস্থায় গোলকের ওজন $= W_1$ gm.

এবং বায়ুপূর্ণ অবস্থায় গোলকের ওজন $= W_2$ gm.।

সুতরাং, গোলকের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর ওজন $= (W_2 - W_1)$ gm.

এবং বায়ুর ঘনত্ব $= \frac{\text{বায়ুর ওজন}}{\text{বায়ুর আয়তন}} = \frac{W_2 - W_1}{V}$ gm./c.c. ।

(মনে রাখিতে হইবে পরীক্ষাগারে বাতাসের নির্দিষ্ট চাপ ও তাপমাত্রায় এই ঘনত্ব নির্ণীত হইল। বিভিন্ন চাপ ও তাপমাত্রায় ইহার পরিমাণ বিভিন্ন হইবে।)

সারাংশ

তরলের ন্যায় আর্কিমিদিস-সূত্র এবং প্লবতা গ্যাসেও প্রযোজ্য। ব্যারোস্কোপ পরীক্ষা ইত্যাদি ইহার সত্যতা নির্ণয় করে। গ্যাসের ঘনত্ব উহার চাপ এবং তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। কাচের গোলকের পরীক্ষার সাহায্যে বায়ুর ঘনত্ব সাধারণভাবে নির্ণয় করা হয়।

প্রশ্নমালা

1. ব্যারোস্কোপ পরীক্ষা সংক্ষেপে বর্ণনা কর এবং বুঝাইয়া দাও যে এই পরীক্ষার দ্বারা কিরূপে আর্কিমিদিস-সূত্রের সত্যতা গ্যাসের ক্ষেত্রেও প্রমাণিত হয়। (Describe in short Baroscope experiment and explain how this proves Archimedes' principle in gas.)

2. নিম্নলিখিত প্রশ্ন দুইটি সহজভাবে ব্যাখ্যা কর :

(ক) একটি বেলুনের বাতাসে উঠা, নামা এবং স্থির অবস্থায় থাকা কিরূপভাবে সম্ভব ?

(খ) এক পাউণ্ড পালক এক পাউণ্ড সীসা অপেক্ষা হাল্‌কা মনে হয় কেন ?

(Explain in a simple way the following two questions :

(a) How does a balloon ascend, descend and remain stationary ?

(b) Why does a pound of feather seem lighter than a pound of lead ?)

3. গ্যাসের ঘনত্ব কাহাকে বলে ? গ্যাসের ঘনত্ব সাধারণতঃ কিভাবে ব্যক্ত করা হয় ?

অক্সিজেনের ঘনত্ব "16"। এই উক্তিতে কি বুঝিবে ?

(Define the density of a gas. How do we commonly express density of a gas ?

What do you understand by the statement that the density of oxygen is 16 ?)

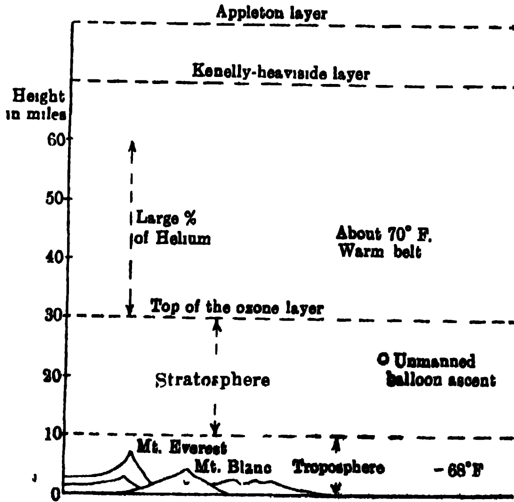
দ্বাদশ পরিচ্ছেদ

বায়ু বা বায়ুমণ্ডল

(Air or atmosphere)

12·1. বায়ু সম্পর্কে সাধারণ আলোচনা : পৃথিবীপৃষ্ঠ বেষ্টন করিয়া যে গ্যাসীয় পদার্থের আবরণ বর্তমান রহিয়াছে উহাকেই আমরা বায়ুমণ্ডল (atmosphere) বা সংক্ষেপে বায়ু বলিয়া অভিহিত করি। এই গ্যাসীয় আবরণ বা বায়ু পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে বহু ঊর্ধ্ব পর্যন্ত প্রসারিত (আনুমানিক 200 মাইল পর্যন্ত)।

পরীক্ষাদ্বারা দেখা গিয়াছে এই বায়ু কোন একটি নির্দিষ্ট গ্যাস নহে। বস্তুতঃ ইহা কতকগুলি গ্যাসের সংমিশ্রণ মাত্র—যথা, নাইট্রোজেন (শতকরা 77 ভাগ), অক্সিজেন (শতকরা 21 ভাগ), আর্গন (প্রায় একশতাংশ), ইত্যাদি। স্তরভেদে



চিত্র 12A

এই গ্যাসগুলির মিশ্রণের হার বিভিন্ন। তবে পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে প্রায় 10 মাইল পর্যন্ত বায়ুপ্রবাহ চলিতে পারে বলিয়া ভূপৃষ্ঠ হইতে 10 মাইল পর্যন্ত বিস্তৃত বায়ুস্তরের মধ্যে বিভিন্ন গ্যাসের মিশ্রণের হারের বিশেষ পরিবর্তন ঘটে না। 10 মাইল পর্যন্ত প্রসারিত বায়ুর এই বেষ্টনীকে ইংরাজীতে বলা হয় Troposphere (12 A চিত্রে দ্রষ্টব্য)।

ভূপৃষ্ঠ হইতে 10 মাইলের অধিক ঊর্ধ্বে বায়ুপ্রবাহ চলে না বলিয়া উচ্চস্তরের

বায়ুতে অপেক্ষাকৃত হাল্কা গ্যাসের পরিমাণ অধিক থাকে। যেমন, 50 মাইল ঊর্ধ্বে বায়ুস্তরের মধ্যে হিলিয়াম (Helium) নামক গ্যাসের প্রাচুর্য বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়।

12·2. বায়ুমণ্ডলের চাপ (Atmospheric pressure) : যদিও কিয়ৎপরিমাণ বায়ুর ওজন নগণ্য, কিন্তু সামগ্রিকভাবে এই বায়ুমণ্ডলের ওজন বহু শত লক্ষ টন (6×10^{15} tons)। বায়ুমণ্ডলের এই ওজন আমাদের পৃথিবীর পৃষ্ঠ সম্পূর্ণভাবে বহন করিতেছে। কেননা আমাদের পৃথিবী তথাকথিত বায়ুসমুদ্রে সম্পূর্ণভাবে নিমজ্জিত আছে। সুতরাং বায়ুমণ্ডলের এই সামগ্রিক ওজনই পৃথিবীপৃষ্ঠের উপর সামগ্রিক চাপ নির্দেশ করে। এই হিসাবে **পৃথিবীপৃষ্ঠের প্রতি একক ক্ষেত্রফল বায়ুমণ্ডলের সমগ্র ওজনের যে অংশ বহন করে উহাই নির্দেশ করে বায়ুমণ্ডলের চাপ।**

হিসাব করিয়া দেখা গিয়াছে যে, পৃথিবীপৃষ্ঠের প্রতি বর্গইঞ্চির উপর বায়ুমণ্ডলের ওজন আনুমানিক সাত সের অর্থাৎ 14 7 lbs /sq inch।

12·3. গাণিতিক সঙ্কেতে বায়ুর চাপ নির্ণয় (Calculation of atmospheric pressure) : তরল স্থির অবস্থায় থাকিলে, আমরা জানি, কোন বিন্দুতে তরলের চাপ নির্ণীত হয় ঐ বিন্দুকে ঘিরিয়া একক ছেদক্ষেত্রের এমন তরলস্তম্ভের ওজন দ্বারা যাহার দৈর্ঘ্য ঐ বিন্দুর গভীরতার সমান। অর্থাৎ তরলের চাপ,

$$P = h \text{ (তরলস্তম্ভের দৈর্ঘ্য)} \times \rho \text{ (তরলের ঘনত্ব)} \times g \text{ (অভিকর্ষজাত ত্বরণ)}$$
$$= h \rho g$$

স্থিতিশীল অবস্থায় তরল এবং গ্যাসীয় পদার্থের ধর্ম অনেকটা একই রকম। সুতরাং বায়ুর সাধারণ স্থিতিশীল অবস্থাদৃষ্টে **কোন বিন্দুতে উহার চাপ নির্ণীত হয় ঐ বিন্দুকে ঘিরিয়া একক ছেদক্ষেত্রের এমন বায়ুস্তম্ভের ওজন দ্বারা যাহার দৈর্ঘ্য ঐ বিন্দু হইতে যতদূর পর্যন্ত বায়ু প্রসারিত রহিয়াছে তাহার উচ্চতার সমান।**

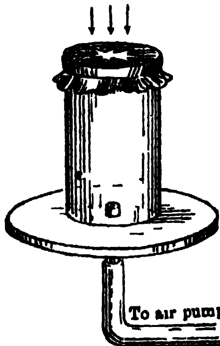
এই হিসাবে আমরা যখন বলি **পৃথিবীপৃষ্ঠের কোন বিন্দুতে বায়ুর চাপ 14·7 lbs. wt./sq. inch তখন বুঝিতে হইবে সেই বিন্দু হইতে বায়ুমণ্ডল ঊর্ধ্বে যতদূর পর্যন্ত প্রসারিত তাহার সম-উচ্চতার এক বর্গ-ইঞ্চি ছেদক্ষেত্র-বিশিষ্ট বায়ুস্তম্ভের ওজন 14·7 lbs.।** বিভিন্ন স্তরের বায়ুর ঘনত্বের পরিমাণ বিভিন্ন হওয়ায় এবং বায়ুস্তর কতদূর পর্যন্ত প্রসারিত তাহা সঠিক না জানায় আমরা তরলের ন্যায় কোন বিন্দুতে বায়ুর চাপ $P = h\rho g$ এই সহজ সমীকরণটির দ্বারা

সরাসরিভাবে নির্ণয করিতে পারি না। এই কারণে বায়ুর চাপ নির্ণয় করিবার জন্য আমবা পরোক্ষ পন্থা (Indirect method) অবলম্বন করিযা থাকি।

12·4. বায়ুর চাপের অস্তিত্ব সম্পর্কে বিভিন্ন পরীক্ষা (Experiments to demonstrate the existence of atmospheric pressure) : তরলের ক্ষেত্রে আমরা দেখিযাছি তরলের মধ্যে কোন বিন্দুতে উর্ধ্বে, নিম্নে এবং পার্শ্বে তরলের চাপ বর্তমান। অনুরূপভাবে স্থিতিশীল অবস্থায কোন বিন্দুতে বাতাসের চাপও উর্ধ্বে, নিম্নে এবং পার্শ্বে বর্তমান।

বাযুর এই সর্বতোমুখী চাপের অস্তিত্ব আমবা নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলির দ্বারা প্রমাণ করিযা দেখাইতে পারি।

1. পাতলা রবারের পর্দা ফাটার পরীক্ষা (Bursting of a thin rubber sheet)—এই পরীক্ষা দ্বারা বাতাসের নিম্নাভিমুখী চাপ নির্দেশিত হয। একটি দুই-মুখখোলা মোটা কাচের চোঙ লও। উহার এক মুখ একটি পাতলা রবারের পর্দা দ্বারা বাযুরোধ করিয়া শক্তভাবে আঁটিযা দাও এবং অপর মুখ একটি বাযু-নিষ্কাশক যন্ত্রের (Exhaust-pump) চাকতির উপর বসাও (12B চিত্র দেখ)। চাকতি ও কাচনলের সংযোগস্থলে ভ্যাসিলীন্ লাগাইযা ঐ স্থান বাযুরোধক কর। অতঃপর বাযু-নিষ্কাশক যন্ত্রটি চালাইতে থাক। দেখিতে পাইবে রবারের পর্দাটি নীচের দিকে আস্তে আস্তে বসিযা যাইতেছে। যন্ত্রটি ক্রমশঃ চালাইতে থাকিলে রবারের পর্দাটি শেষপর্যন্ত অনেকসময ফাটিযা যায।

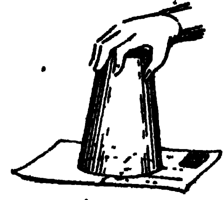


চিত্র 12B

ব্যাখ্যা : প্রথম অবস্থায চোঙটির ভিতরের বাযুর চাপ এবং বাহিরের বাযুর চাপ একই থাকায রবারের পর্দাটি সমতল থাকে। কিন্তু পাম্পের সাহায্যে উহার ভিতরের বাযু যখন ক্রমাগত নিষ্কাশিত করা হয, তখন উহার ভিতরের বাযুর চাপ কমিয়া যায় কিন্তু বাহিরের বাযুর চাপ একই থাকে। এই চাপ-বৈষম্যের ফলে রবারের পর্দাটি নীচের দিকে বাঁকিযা যায়। অবশেষে ভিতরের বাযু যখন প্রায় নিষ্কাশিত হয় তখন বাযুর এই চাপ-বৈষম্য অত্যধিক বৃদ্ধি পাওয়ায় পর্দাটি ফাটিযা যায়। কাজেই এই পরীক্ষার দ্বারা বাতাসের চাপের অস্তিত্ব এবং এই চাপ যে নিম্নাভিমুখী ক্রিয়া করিতে পারে তাহা প্রমাণিত হইল।

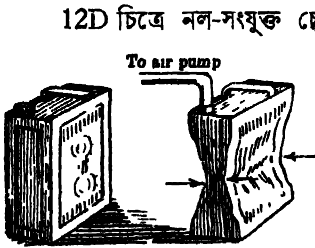
2. কাচের গ্লাস ও পোস্টকার্ডের সাহায্যে বাযুর উর্ধ্বমুখী চাপের পরীক্ষা (A glass tumbler and a postcard experiment)—একটি কাচের

গ্লাস সম্পূর্ণভাবে জল দ্বারা ভর্তি কর এবং উহার মুখ একখানি পোস্টকার্ডের সাহায্যে ঢাকিয়া দাও। এখন পোস্টকার্ডটিকে আঙ্গুলের সাহায্যে চাপিয়া রাখিয়া গ্লাসটিকে খুব সাবধানে উল্টাইয়া ধর (12C চিত্র দেখ)। দেখিবে আঙ্গুল সরাইলেও পোস্টকার্ডটি যথাস্থানে রহিয়া যায় এবং পাত্রস্থ জল নীচে পড়িয়া যায় না। যদি পোস্টকার্ডের উপর বাতাসের চাপ উর্ধ্বদিকে ক্রিয়া না করিত তবে ইহা সম্ভব হইত না। কারণ বাহিরের বাতাসের উর্ধ্বমুখে চাপ না থাকিলে পাত্রস্থ জলের নিম্নমুখী চাপে পোস্টকার্ডখানি সরিয়া গিয়া পাত্রস্থ জল নীচে পড়িয়া যাইত।


চিত্র 12C

3. **পাতলা টিনের পাত্র তুমড়াইয়া যাওয়ার পরীক্ষা** (Collapsing of a tin can)—এই পরীক্ষা দ্বারা বায়ুর পার্শ্বচাপের অস্তিত্ব প্রমাণিত হয়।

12D চিত্রে নল-সংযুক্ত চৌকা আকৃতির একটি পাতলা টিনের পাত্র দেখানো হইল। বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্রের সঙ্গে পাত্রের ঐ নলটি সংযুক্ত করিয়া পাত্রের অভ্যন্তরস্থ বায়ু নিষ্কাশন করিতে থাকিলে দেখা যায় পাত্রটির পার্শ্ব আস্তে আস্তে তুমড়াইয়া যায় (12D চিত্র দেখ)। বায়ুর পার্শ্বচাপ না থাকিলে ইহা কখনও সম্ভব হইত না।



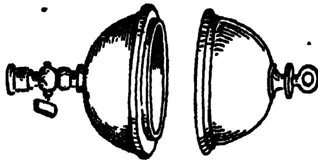
চিত্র 12D

প্রসঙ্গতঃ আমরা এখানে উল্লেখ করিতে পারি আমাদের দেহের উপর বায়ুর সামগ্রিক চাপ প্রতিনিয়ত প্রায় 450 মণ। অথচ আমাদের দেহ বায়ুর এই প্রচণ্ড চাপে তুমড়াইয়া যায় না। ইহার একমাত্র কারণ আমাদের **ফুসফুস ইত্যাদির সাহায্যে ভিতরের বায়ুর সঙ্গে বাহিরের বায়ুর সংযোগ থাকায় ভিতরের বায়ুর বিপরীতমুখী পার্শ্বচাপ বাহিরের বায়ুর পার্শ্বচাপের সহিত সর্বদা সমতা রক্ষা করে। কাজেই আমরা বাহিরের বায়ুর এই প্রচণ্ড চাপ অনুভব করিতে পারি না।**

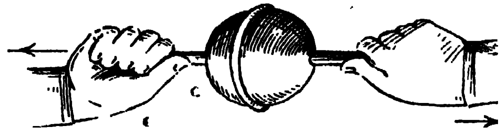
4. **ম্যাগডেবার্গ গোলকার্ধ পরীক্ষা** (Magdeburg hemisphere experiment)—বায়ুর সর্বমুখী চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করিবার জন্য জার্মানীর ম্যাগডেবার্গ মিউনিসিপ্যালিটির ম্যাজিস্ট্রেট অটো ফন্ গেরিক (Otto Von Guericke) এই বিশ্ববিখ্যাত পরীক্ষাটি সম্পাদন করিয়াছিলেন।

এই পরীক্ষার যন্ত্রটিতে দুইটি সম-ব্যাসের পিতলের ফাঁপা গোলার্ধ থাকে (12E (i) চিত্র দেখ)। এই গোলার্ধ দুইটি মুখামুখী বসাইলে একটি ফাঁপা পূর্ণ

গোলক হয়। ইহাদের একটি গোলার্ধের উপরপৃষ্ঠে আঙটা লাগানো থাকে এবং অপরটিতে আঙটাসহ একটি প্যাচকল সংযুক্ত থাকে। এই প্যাচকলের সঙ্গে বায়ুনিষ্কাশক পাম্প লাগানো যাইতে পারে। গোলার্ধ দুইটিকে মুখামুখী একত্র বসাইয়া আঙটার সাহায্যে টান দিলে উহারা সহজেই আলাদা হইয়া যায়। কিন্তু যখন গোলার্ধ দুইটির জোড়ামুখে ভ্যাসিলীন্ নিশ্ছিদ্র-ভাবে লাগাইয়া প্যাচকল খুলিয়া বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্রের সাহায্যে পূর্ণ গোলকটির অভ্যন্তরস্থ বায়ু নিষ্কাশন করা হয় তখন দেখা যায় গোলার্ধ দুইটি এমন-ভাবে আঁটিয়া যায় যে আঙটা দুইটিকে সজোরে টান দিয়াও গোলার্ধ দুইটি আলাদা করা সম্ভব হয় না (12E (ii) চিত্র দেখ)।



চিত্র 12E(i)



চিত্র 12E (ii)

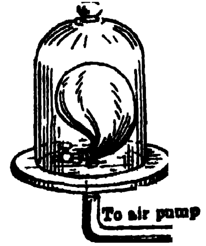
ব্যাখ্যা : গোলার্ধ দুইটিকে যখন প্রথমে মুখামুখী বসানো হয় তখন পূর্ণ গোলকটি বায়ুপূর্ণ থাকে এবং সেইজন্য গোলকের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ বাহিরের বায়ুর চাপের সমতা রক্ষা করে। ইহার ফলে সহজেই গোলার্ধ দুইটিকে টানিয়া আলাদা করা সম্ভব হয়। কিন্তু যখন গোলকের অভ্যন্তরস্থ বায়ু নিষ্কাশিত হয় তখন ভিতরের বায়ুর চাপ একরূপ কিছুই থাকে না কিন্তু বাহিরের বায়ুর সর্বতোমুখী চাপ অপরিবর্তনীয় থাকে। সুতরাং পূর্ণ গোলকটির পৃষ্ঠে বায়ুর সামগ্রিক চাপ গোলার্ধ দুইটিকে জোরে আটকাইয়া রাখে। এই পরীক্ষা দ্বারা বায়ুর সর্বতোমুখী চাপের অস্তিত্ব নির্দেশিত হয়।

প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য, ফন্ গেরিক 2 ফুট ব্যাসের গোলার্ধ লইয়া উপরোক্ত পরীক্ষা-কার্যটি চালাইয়াছিলেন। গোলার্ধ দুইটির মুখ জোড়া করিয়া দিয়া পূর্ণ গোলকটি হইতে বায়ু নিষ্কাশন করার পর এক এক দিকে ছয়টি ঘোড়া জুড়িয়া দিয়াও গোলার্ধ দুইটিকে তিনি আলাদা করিতে পারেন নাই।

5. ব্লাডার-স্ফীতির পরীক্ষা (Bulging of a bladder experiment)—এই পরীক্ষার সাহায্যে বায়ুর সর্বতোমুখী চাপের অস্তিত্ব এবং তৎসঙ্গে উহার প্রসারণ-শীলতাও প্রমাণিত হয়।

12F চিত্রে স্টপ্-কক্-সংযুক্ত একটি পাতলা রবারের ব্লাডার দেখানো হইল। এই ব্লাডারটি আংশিক বায়ুপূর্ণ। পরীক্ষার সময় উহাকে বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্রের কাচের বেলজারের মধ্যে স্থাপন কর (12F চিত্রে দেখ)। এখন যন্ত্রটি চালাইয়া বেলজারের

অভ্যন্তরস্থ বায়ু নিষ্কাশন করিতে থাক। দেখিতে পাইবে বেলজারের অভ্যন্তরস্থ বায়ু নিষ্কাশনের সঙ্গে সঙ্গে ব্লাডারটি স্ফীত হইতে থাকে।

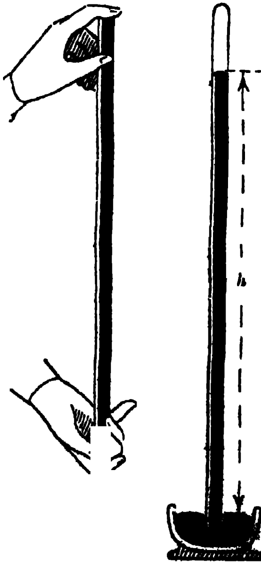


চিত্র 12F

ব্যাখ্যা: প্রথম অবস্থায় ব্লাডারের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ উহার চতুষ্পার্শ্বস্থ বায়ুর চাপের সমান থাকে। যখন পাম্পের সাহায্যে বেলজারের বায়ু নিষ্কাশিত হইতে থাকে তখন ব্লাডারের বাহিরের দিকের বায়ুর চাপ কমিয়া যায় কিন্তু উহার অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ অপরিবর্তনীয় থাকে। এই চাপ-বৈষম্যের ফলে ব্লাডারটি ক্রমাগত স্ফীত হয়। ব্লাডারের এই স্ফীতি বায়ুর সর্বতোমুখী চাপ এবং বায়ুর প্রসারণশীলতা নির্দেশ করে।

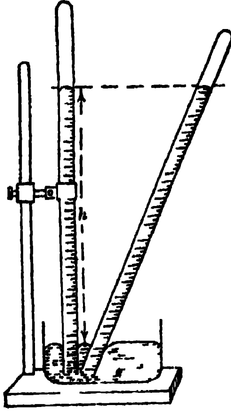
12·5. টরিসেলির পরীক্ষা (Torricelli's experiment): পূর্বোক্ত পরীক্ষাগুলির দ্বারা বায়ুর চাপের অস্তিত্ব প্রমাণিত হইয়াছে। কিন্তু উহাদের সাহায্যে বায়ুর চাপের পরিমাণ নির্ণয় করা সম্ভব হয় নাই। টরিসেলির পরীক্ষা দ্বারা সুনির্দিষ্টভাবে বায়ুর চাপের পরিমাণ নির্ণয় করা সম্ভব হয়। এই কারণে টরিসেলির পরীক্ষাটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ।

পরীক্ষা: একটি এক-মুখবন্ধ সম-ব্যাসের (uniform bore) এক মিটারের মত দৈর্ঘ্যের পুরু কাচের নল লও। এই নলটির খোলা মুখ ঊর্ধ্বে রাখিয়া উহাকে বিশুদ্ধ শুষ্ক পারদ দ্বারা পূর্ণ কর। নলটির মধ্যে পারদ ঢালিবার সময় লক্ষ্য রাখিতে হইবে উহার মধ্যে কোন-ক্রমেই যেন বাতাসের বুদ্বুদ (Air-bubble) আটকাইয়া না যায়। অতঃপর আঙ্গুল দ্বারা নলটির খোলা মুখ সাময়িকভাবে বন্ধ করিয়া একটি পারদপাত্রে ঐ নলটিকে উল্টাইয়া স্থাপন কর। দেখিতে পাইবে পারদস্তম্ভের শীর্ষ খানিকটা নীচে নামিয়া আসে এবং উহা কয়েকবার উঠা-নামা করিয়া শেষপর্যন্ত নলের মধ্যে একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় স্থির অবস্থায় দাঁড়ায় (12G চিত্র দেখ)। এখন বন্ধনীর (clamp) সাহায্যে নলটিকে খাড়াভাবে আটকাইয়া দাও (12H চিত্র দেখ)। অতঃপর স্কেলের সাহায্যে পাত্রস্থ পারদের উন্মুক্ত তল হইতে পারদস্তম্ভের উচ্চতা মাপ। মনে কর, ইহা "h" cm.। এক্ষেত্রে বাতাসের চাপ উক্ত h cm. দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের চাপের সমান।



চিত্র 12G

[**দ্রষ্টব্য।** পারদপাত্রের মধ্যে কাচনলটিকে উল্টাইয়া স্থাপন করিলে কাচনলের মধ্যস্থ পারদস্তম্ভ কিছুটা নীচে নামিয়া আসায় নলের মধ্যে যে শূন্যস্থান সৃষ্ট হয় উহাকে **"টরিসেলির শূন্যস্থান" (Torricellian Vacuum)** বলা হয়। মনে রাখিবে এই স্থানটি বস্তুতঃ সম্পূর্ণরূপে শূন্য নহে। উহার মধ্যে কিয়ৎ-পরিমাণ পারদের বাষ্প থাকে। কিন্তু এই পারদবাষ্পের (mercury vapour) চাপ একবারেই নগণ্য। সুতরাং ধরিয়া লওয়া হয় ঐ স্থানটি যথার্থ শূন্য থাকিলে পারদস্তম্ভ যে উচ্চতায় দাঁড়াইত এক্ষেত্রেও পারদস্তম্ভ সেই উচ্চতায়ই অবস্থান করে।]



চিত্র 12H

ব্যাখ্যা ঃ আমরা জানি পৃথিবীর আকর্ষণের ফলে পারদস্তম্ভের উপর নিম্নমুখী বল প্রযুক্ত হয়। সুতরাং ঐ পারদস্তম্ভের উপর ঊর্ধ্বমুখী কোন বল প্রযুক্ত না হইলে স্তম্ভটি নলের মধ্যে স্থির অবস্থায় দাঁড়াইয়া থাকিতে পারিত না। এই ঊর্ধ্বমুখী বলের উৎস অনুসন্ধান করিতে যাইয়া বায়ুচাপের অস্তিত্ব স্বীকার করিতে হয়। মনে কর, বায়ুর চাপের পরিমাণ P। উহা এক্ষেত্রে পাত্রস্থ পারদের উন্মুক্ত তলের উপর নিম্নাভিমুখে ক্রিয়া করে। পাস্কালের সূত্র হিসাবে এই চাপ সমভাবে সর্বদিকে পাত্রের পারদের মধ্যে সঞ্চালিত হয়। সুতরাং উহা পাত্রে নিমজ্জিত নলটির খোলা মুখের উপর ঊর্ধ্বমুখে ক্রিয়া করে। এই ঊর্ধ্বমুখী সঞ্চালিত চাপ নিম্নমুখী পারদস্তম্ভের চাপের সমান হওয়ায় পারদস্তম্ভটি নলের মধ্যে স্থির অবস্থায় দাঁড়াইয়া থাকিতে পারে। কাজেই এক্ষেত্রে পারদস্তম্ভের উচ্চতার পরিপ্রেক্ষিতে আমরা নিম্নলিখিতভাবে বাতাসের চাপ নির্ণয় করিতে সক্ষম হই।

বাতাসের চাপের পরিমাণ নির্ণয় ঃ

মনে কর পারদস্তম্ভের উচ্চতা $h = 76$ cms ,

পারদের ঘনত্ব $\rho = 13{\cdot}6$ gms./c.c.,

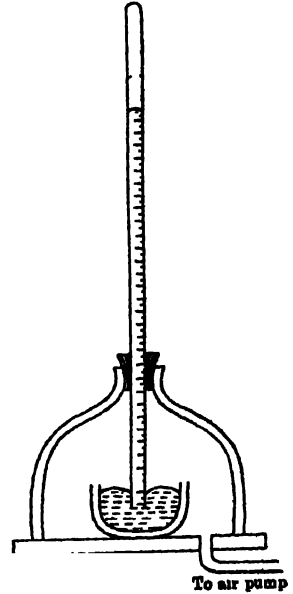
এবং পরীক্ষা-স্থানে অভিকর্ষজাত ত্বরণ $g = 981$ cms./sec^2.

টরিসেলির পরীক্ষা হিসাবে এক্ষেত্রে 76 cms. দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের যে চাপ উহা বাতাসের চাপের সমান। সুতরাং এক্ষেত্রে বাতাসের চাপ,

$$P = h\rho g$$

$$= 76 \times 13{\cdot}6 \times 981 = 1{\cdot}014 \times 10^6 \text{ dynes/sq. cm.}$$ (আনুমানিক)।

টরিসেলির বিকল্প পরীক্ষা ঃ টরিসেলির পরীক্ষার পারদস্তম্ভসহ পারদপাত্রটি একটি বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্রের আধারের (Receiver) মধ্যে বসাও (12I চিত্র দেখ) এবং বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্রটি চালাইযা উহার অভ্যন্তরস্থ বায়ু নিষ্কাশন করিতে থাক। দেখিতে পাইবে নলটি হইতে ক্রমাগত পারদ-স্তম্ভ নীচে নামিয়া আসিতেছে। যখন আধাবেব অভ্যন্তরস্থ বায়ু প্রায় নিঃশেষিত হইয়া যায় তখন নলেব পারদ প্রায সবটাই নামিযা আসে। অতঃপব পাম্পটি বন্ধ কবিযা আধাবের মধ্যে বায়ু প্রবেশ করাও। দেখিতে পাইবে নলের মধ্যে আস্তে আস্তে পারদ উঠিতেছে এবং আধাবটি যখন পূর্বের ন্যায় বাতাসে পূর্ণ হইযা বাহিবেব বাতাসের সমচাপে আসে তখন পাবদস্তম্ভ পুনবায় পূর্বেব উচ্চতায আসিযা পৌছাব।



চিত্র 12I

ইহাব দ্বারা প্রমাণিত হয যে, বাতাসের চাপ বর্তমান থাকাতেই টরিসেলির পবীক্ষায নলের মধ্যে পাবদস্তম্ভ স্থির অবস্থায় দাঁড়াইয়া থাকে এবং বায়ুব এই চাপের পরিমাণ নলের মধ্যের পারদস্তম্ভের চাপেব সমান।

12·6. টরিসেলির পরীক্ষা সম্পর্কে বিবিধ আলোচনা ঃ

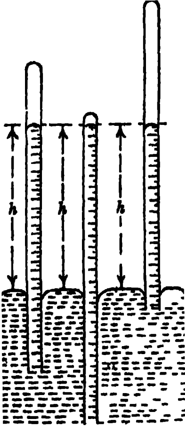
(1) টরিসেলিব পবীক্ষার নলটিকে কাত করিযা রাখিলে কি হয ?

টরিসেলিব পরীক্ষাব নলটিকে কাত করিয়া ধরিলে নলের মধ্যে পাবদ অধিকদূর পর্যন্ত উঠে। কাজেই কাত অবস্থায় নলের মধ্যে পারদস্তম্ভের যে দৈর্ঘ্য তাহা লইয়া বাতাসের চাপের পরিমাণ নির্ণয় করা ভুল হইবে। এক্ষেত্রে পাত্রস্থ পারদের মুক্ত তল হইতে খাড়াভাবে পাবদস্তম্ভের শীর্ষের (meniscus) উচ্চতা মাপিতে হইবে (12H চিত্র দেখ)।

(2) টরিসেলির পরীক্ষার নলটিকে পাত্রস্থ পারদের মধ্যে কম বা অধিক ডুবাইলে নলের মধ্যে পারদস্তম্ভের উচ্চতার কি কোন পরিবর্তন হয় ?

নলটিকে পাত্রস্থ পারদের মধ্যে কম ডুবাইলে টরিসেলির শূন্যস্থান বাড়িয়া যায়। আবার নলটিকে পারদ-পাত্রের মধ্যে অধিক ডুবাইলে ঐ শূন্যস্থান কমিয়া যায়। কিন্তু উভয় ক্ষেত্রেই নলের মধ্যে পারদস্তম্ভের উচ্চতা একই থাকে (12J চিত্র)। ইহার কারণ প্রতি ক্ষেত্রেই পারদস্তম্ভের চাপ বাহিরের বাতাসের চাপের সমান।

(3) টরিসেলির পরীক্ষার নলটিকে পারদপূর্ণ করিবার সময় নলটির মধ্যে কোনরূপ বায়ু প্রবেশ করিযাছে কিনা ইহা বুঝিবার সহজ পদ্ধতি কি?



চিত্র 12J

মনে কর, আমবা সন্দেহ কবিলাম যে নলটিতে বায়ু প্রবেশ কবিযাছে। সুতরাং এক্ষেত্রে নলেব মধ্যে পাবদস্তম্ভেব শীর্ষেব উপবিভাগ টবিসেলির শূন্যস্থান না হইয়া উহাতে বায়ু আছে বলিয়া ধরিয়া লইতে হইবে। এমতাবস্থায মনে কব নলেব মধ্যে পারদস্তম্ভেব উচ্চতা "H"। এখন নলটিকে খাড়াভাবে রাখিযা উহাকে পাত্রেব পাবদের মধ্যে কিছুদূব পযন্ত ডুবাইলে পাবদ-স্তম্ভেব শীর্ষভাগেব শূন্যস্থান এক্ষেত্রে কমিযা যাইবে সন্দেহ নাই। কিন্তু যদি সত্যই নলে বায়ু প্রবেশ কবিয়া থাকে তাহা হইলে পাবদস্তম্ভেব উচ্চতা পূর্বাপেক্ষা কমিয়া যাইবে। ইহাব কারণ পাবদস্তম্ভের উপবিভাগেব বায়ু সঙ্কুচিত হওযাব ফলে পারদস্তম্ভেব উপব ঐ বায়ুব নিম্নমুখী চাপ বৃদ্ধি পাইবে। কাজেই পারদস্তম্ভের উচ্চতা পূর্বনির্ধাবিত H অপেক্ষা কম হইবে।

প্রসঙ্গত উল্লেখযোগ্য, টরিসেলিব পবীক্ষায নলের বদ্ধমুখে যদি একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র করা হয় তাহা হইলে ঐ ছিদ্রপথ দিযা বাহিবের বাতাস কাচ-নলে প্রবেশ কবিবে। ফলে পারদস্তম্ভ ক্রমাগত নীচে নামিযা আসিবে এবং শেষপর্যন্ত নলের সমগ্র পারদ পাত্রে চলিয়া আসিবে। ইহাব কাবণ নলের অভ্যন্তরের বায়ুব চাপ এবং বাহিরেব বায়ুর চাপ সমান হইযা যায। কাজেই নলেব মধ্যে পূর্বের ন্যায় পাবদস্তম্ভ স্থির হইযা দাঁড়াইতে পাবে না।

(4) টরিসেলির পরীক্ষার নলেব ছিদ্র মোটা বা সরু হওয়ায তরলস্তম্ভের উচ্চতাব কোন পার্থক্য ঘটিবে কি?

টরিসেলির পবীক্ষার নলের ছিদ্র মোটা বা সরু হওয়ায় তরলস্তম্ভেব উচ্চতায় কোন পার্থক্য ঘটিবে না। কারণ টবিসেলির পরীক্ষার দ্বারা ইহাই প্রমাণিত হইযাছে যে বাতাসের চাপ পারদস্তম্ভের চাপের সমান এবং স্থিতিশীল অবস্থায় তরলের ধর্মহিসাবে আমরা জানি পারদস্তম্ভের চাপ নির্ভর করে উহার উচ্চতা বা দৈর্ঘ্যের উপর; নলটির মধ্যে কি পরিমাণ মোট পারদ থাকে তাঁহাব উপর নির্ভর করে না।

অবশ্য এখানে স্মরণ রাখিতে হইবে যে, নলটির ছিদ্র যদি খুব সূক্ষ্ম হয়, তাহা হইলে নলের মধ্যে পারদস্তম্ভের উচ্চতা অপেক্ষাকৃত কম হইবে। কারণ, এক্ষেত্রে পারদস্তম্ভের

উপর কৈশিকতা-জনিত বল (capillary action) নিম্নমুখে বিশেষভাবে ক্রিয়া করে। সুতরাং বাতাসের চাপ, যে দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভ ধারণ করিয়া রাখিতে পারিত নলের ছিদ্র কৈশিক আকারের হইলে বাতাসের চাপ তাহা অপেক্ষা কম দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভ ধারণ করিবে।

(5) টরিসেলিব পরীক্ষায় জল না লইয়া পারদ ব্যবহার করার সঙ্গত কারণ কি ?

(ক) বিশুদ্ধ শুক্‌না পারদ কাচকে ভিজায় না, কিন্তু জল কাচকে ভিজায়।

(খ) পারদস্তম্ভ এবং উহার শীর্ষ কাচনলের বাহির হইতে অতি পরিষ্কারভাবে দেখা যায়। জল স্বচ্ছ এবং বর্ণহীন। সুতরাং জলের ক্ষেত্রে কাচনলের মধ্যে জল-স্তম্ভ এবং জলের শীর্ষ পরিষ্কারভাবে দেখা কষ্টকব।

(গ) পারদের ঘনত্ব জলের ঘনত্ব অপেক্ষা অধিক (13·6 গুণ)। সুতরাং যে উচ্চতাব পারদস্তম্ভ বাতাসের চাপসমতা রক্ষা করে উহার 13·6 গুণ উচ্চতার জল-স্তম্ভ বাতাসের চাপসমতা রক্ষা করিবে।

কাজেই পারদ ব্যবহার করার সময় আমরা এক মিটার দৈর্ঘ্যের যখন টরিসেলির নল লই তখন জলের সাহায্যে টরিসেলির পরীক্ষা করিতে চাহিলে নলটি আনুমানিক 13·6 মিটার দৈর্ঘ্যের লওয়া প্রয়োজন। কিন্তু এত লম্বা দৈর্ঘ্যেব নল পরীক্ষাগারে ব্যবহাব করা কার্যতঃ একরূপ অসম্ভব।

(6) একটি উচ্চ পাহাড়ের পাদদেশে এবং উহার উপবিভাগে টবিসেলির পরীক্ষা-কার্য চালাইলে পারদস্তম্ভের উচ্চতার ব্যতিক্রম ঘটিবে কি ?

আমরা জানি পাহাড়ের পাদদেশে বাতাসের চাপ পাহাড়ের উপরিভাগের বাতাসেব চাপ অপেক্ষা অধিক। সুতরাং পাহাড়ের উপরে টরিসেলির পরীক্ষার নলের পারদস্তম্ভের উচ্চতার তুলনায় পাহাড়ের পাদদেশে পারদস্তম্ভের উচ্চতা অধিক হইবে। সুতরাং নলের মধ্যে পারদস্তম্ভের উচ্চতার ব্যতিক্রম ঘটিবে।

(7) আমরা অনেক সময় বাতাসের চাপ সেন্টিমিটারে নির্দেশ করিয়া থাকি, ইহার প্রকৃত তাৎপর্য কি ?

মনে কর, বাতাসের চাপ 'H' সেন্টিমিটারে নির্দেশ করা হইল। ইহা দ্বারা সাধারণতঃ বুঝিতে হইবে বাতাসের চাপ 'H' cm. দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের চাপের সমান।

এই হিসাবে, আমরা যদি বলি পরীক্ষাগারে বাতাসের চাপ 75·4 cms. তাহা হইলে বুঝিতে হইবে 75·4 cms. দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের যে চাপ উহা বাতাসের চাপের সমান।

সুতরাং এক্ষেত্রে বাতাসের চাপ,

$$P = 75{\cdot}4 \times 13{\cdot}6 \times 981 \text{ dynes/sq. cm.}$$

12·7. সমসত্ত্ব বায়ুমণ্ডল (Homogeneous atmosphere) : আমরা জানি বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরে বায়ুর ঘনত্ব বিভিন্ন। কিন্তু কল্পনা করিয়া লও বায়ুমণ্ডলের ঘনত্ব যেন সর্বত্র সমান এবং উহা পৃথিবীর সন্নিকটবর্তী বায়ুমণ্ডলের ঘনত্বের সমান। এই কল্পিত সম-ঘনত্বের বায়ুমণ্ডলকে বলা হয় **সমসত্ত্ববিশিষ্ট বায়ুমণ্ডল।** এই সমসত্ত্ববিশিষ্ট বায়ুমণ্ডল পৃথিবীর পৃষ্ঠ হইতে যে উচ্চতা পর্যন্ত প্রসারিত হইলে পৃথিবীপৃষ্ঠের উপর উহার চাপ প্রকৃত বায়ুচাপের সমান হয় সেই উচ্চতাকে বলা হয় সমসত্ত্ববিশিষ্ট বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা (Height of the homogeneous atmosphere)। হিসাব করিয়া দেখা গিয়াছে এই কল্পিত সমসত্ত্ববিশিষ্ট বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা আনুমানিক 5 মাইল। কিন্তু স্মরণ রাখিবে যে প্রকৃতপক্ষে বায়ুমণ্ডল পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে আনুমানিক 200 মাইল পর্যন্ত প্রসারিত।

12·8: বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ (Standard or normal Atmospheric pressure) : আমরা জানি বায়ুমণ্ডলের চাপ বিভিন্ন স্তরে বিভিন্ন। এমনকি একই স্থানে বিভিন্ন সময়ে বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাণ বিভিন্ন দেখা যায়। সুতরাং বায়ুমণ্ডলের এই বিভিন্ন চাপের বিচার করিতে গেলে সুবিধামত কোন নির্দিষ্ট মানের চাপকে **প্রমাণ চাপ** (standard pressure) হিসাবে ধরিয়া লওয়া প্রয়োজন হয়। এই কারণে বৈজ্ঞানিকগণ বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপের একটি বিশেষ সংজ্ঞা দিয়াছেন। নিম্নে উহা প্রদত্ত হইল।

প্রমাণ চাপের সংজ্ঞা : 0°C তাপমাত্রায় সমুদ্রপৃষ্ঠে 45° অক্ষাংশে 76 cms. দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের যে চাপ উহাকে বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ (Standard or normal Atmospheric pressure) বলিয়া আখ্যা দেওয়া হয়।

আমরা জানি 0° C তাপমাত্রায় পারদের ঘনত্ব 13·596 gms /c c এবং সমুদ্র-পৃষ্ঠে 45° অক্ষাংশে অভিকর্ষজাত ত্বরণ $g = 980·6$ cms./sec² (আনুমানিক)।

সুতরাং, এক্ষেত্রে 76 cms. দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের চাপ

$$= 76 \times 13·596 \times 980·6 \text{ dynes/sq. cm.}$$
$$= 1·013 \times 10^6 \text{ dynes/sq. cm. (আনুমানিক)}$$
$$= 1·013 \text{ megadynes/sq. cm.}$$

সুতরাং, সংজ্ঞা হিসাবে,

বায়ুর প্রমাণ চাপ (Standard or normal pressure)

$$= 1·013 \times 10^6 \text{ dynes/sq. cm. (আনুমানিক)}$$

বা 1·013 megadynes/sq. cm.।

প্রসঙ্গতঃ বলা যাইতে পারে যে আবহতত্ত্ববিদ্‌গণ (Meteorologists) বায়ুমণ্ডলের চাপ 'bar' বা 'millibar' এককে অনেক সময় নির্দেশ করিয়া থাকেন।

আমরা ধরিয়া থাকি 1 bar $= 10^6$ dynes/sq.cm.

$= 1$ megadynes/sq. cm.।

এই হিসাবে 1 millibar $= \frac{1}{1000}$ bar

$= \frac{10^6}{10^3} = 10^3$ dynes/sq cm.

12·9. বিভিন্ন এককে বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাণ নির্ণয় (Calculation of the magnitude of atmospheric pressure in different units) ঃ আমরা সাধারণতঃ বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাণ নির্দেশ করিতে নিম্নলিখিত একক ব্যবহার করি।

(1) **C. G. S. পদ্ধতি ঃ** এই পদ্ধতিতে চাপের একক ধরা হয় 1 dyne/sq. cm.। সুতরাং, C. G. S. পদ্ধতিতে বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্দেশ করা হয় in dynes/sq. cm.। এই হিসাবে কোন স্থানের বায়ুর চাপ যদি 76 cms. দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভ দ্বারা নির্দেশিত হয় তাহা হইলে বায়ুর চাপ $P = 76$ cms দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের চাপ

$= 76$ cms. $\times 13{\cdot}6 \times 981$ dynes/sq. cm.

$= 1{\cdot}014 \times 10^6$ dynes/sq cm. (আনুমানিক)।

মনে রাখিতে হইবে **"bar" এবং "millibar" মূলতঃ C. G. S. পদ্ধতিতে চাপের ব্যবহারিক এককের পর্যায়ভুক্ত।**

(2) **F. P. S. পদ্ধতি ঃ** আমরা জানি এই পদ্ধতিতে বলের একক ধরা হয় Poundal এবং ক্ষেত্রফলের একক ধরা হয় এক বর্গফুট।

সুতরাং এই পদ্ধতিতে চাপের একক নির্দেশিত হয় in poundals/sq. ft.।

আমরা সাধারণতঃ এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বলের ব্যবহারিক একক ধরিয়া থাকি এক পাউণ্ড ওজন অর্থাৎ ইংরাজীতে এক pound weight বা 1 lb. wt. এবং ঐ পদ্ধতিতে ক্ষেত্রফলের ব্যবহারিক একক ধরিয়া থাকি এক বর্গইঞ্চি অর্থাৎ ইংরাজীতে 1 sq. inch।

সুতরাং এই হিসাবে এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে চাপের ব্যবহারিক একক ধরা হয় পাউণ্ড প্রতি বর্গইঞ্চি, অর্থাৎ in lb. wt./sq. inch.।

এখন যদি পূর্বের ন্যায় আমরা বায়ুর চাপ 76 cms. স্তম্ভের দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভ দ্বারা নির্দেশ করি, তাহা হইলে

বায়ুর চাপ $P=76$ cms. দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের চাপ

$$=1{\cdot}014\times10^6 \text{ dynes/sq. cm.}$$

$$=\frac{1{\cdot}014\times10^6}{13825} \text{ poundals/sq. cm.}$$

[∵ 1 poundal = 13825 dynes]

$$=\frac{1{\cdot}014\times10^6}{13825\times32} \text{ pound wt./sq. cm.}$$

[∵ 1 pound wt. (lb. wt) = 32 poundals]

সুতবাং, বায়ুব চাপ প্রতি বর্গইঞ্চিতে

$$=\frac{1{\cdot}014\times10^6}{13825\times32}\times2{\cdot}54\times2{\cdot}54 \text{ lbs wt./sq. inch.}$$

[∵ 1 sq. inch = 2·54 × 2·54 sq. cms.]

$$=14{\cdot}7 \text{ lbs wt./sq. inch.}$$ (আনুমানিক)।

বায়ুর চাপ lb. wt./sq. inch এককে নির্দেশ করিবার বিকল্প গণনা : মনে কব, বায়ুব চাপ (P) নির্দেশিত হইল 30 ইঞ্চি দৈর্ঘ্যেব পাবদস্তম্ভ দ্বাবা।

সুতবাং, প্রতি একক বর্গইঞ্চি ক্ষেত্রেব উপব বায়ুব চাপ = এক বর্গইঞ্চি ছেদ ক্ষেত্র-বিশিষ্ট 30 ইঞ্চি দৈর্ঘ্যেব পাবদস্তম্ভেব ওজন,

এখন এই পারদস্তম্ভের ওজন নির্দেশ কবিতে হইলে উহাব দৈর্ঘ্য ফুটে, প্রস্থচ্ছেদ বর্গফুটে এবং ঘনত্ব F. P. S এ রূপান্তবিত কবিতে হইবে।

সুতরাং, 30 ইঞ্চি দৈর্ঘ্য = $\frac{30}{12}$ ft.

এক বর্গইঞ্চি ছেদ-ক্ষেত্র = $\frac{1}{12\times12}$ বর্গফুট

F. P. S. পদ্ধতিতে পাবদেব ঘনত্ব $=13{\cdot}6\times62{\cdot}5$ lbs./c. ft.

সুতবাং, এক ঘনফুট (c. ft.) পাবদেব ওজন

$=13{\cdot}6\times62{\cdot}5$ lbs. wt. (পাউণ্ড ওজন)।

এখন উক্ত পারদস্তম্ভের আয়তন = উহার দৈর্ঘ্য × প্রস্থচ্ছেদ $=\frac{30}{12}\times\frac{1}{12\times12}$ c. ft.

ঐ স্তম্ভের ভর $=\frac{30}{12}\times\frac{1}{12\times12}\times$ পাবদের ঘনত্ব in F. P. S.

$=\frac{30}{12}\times\frac{1}{12\times12}\times13{\cdot}6\times62{\cdot}5$ পাউণ্ড।

সুতরাং, ঐ স্তম্ভের ওজন $=\frac{30\times13{\cdot}6\times62{\cdot}5}{12\times12\times12}=14{\cdot}7$ lbs. wt.

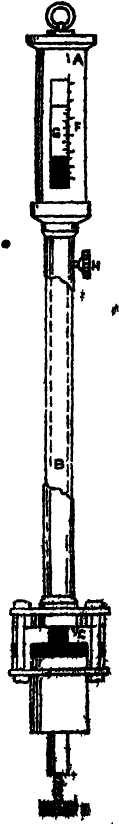
সুতরাং, এক্ষেত্রে বায়ুর চাপ $P=14{\cdot}7$ lbs. wt./sq. inch.

12.10. বায়ুচাপ-মাপক যন্ত্র বা ব্যারোমিটার (Barometer) : যে যন্ত্রের সাহায্যে বায়ুর চাপ মাপিতে পারা যায় তাহাকে **ব্যারোমিটার** বা **বায়ুচাপ-মাপক যন্ত্র** বলা হয়।

পারদ ব্যারোমিটার—টরিসেলির পরীক্ষায় বায়ুর চাপ মাপিবার যে নীতি অনুসৃত হইয়াছে সেই একই নীতি অনুসরণ করিয়া যে যন্ত্রে পারদস্তম্ভের সাহায্যে বায়ুর চাপ নির্ণয় করা হয় তাহাকে **পারদ ব্যারোমিটার** (Mercury Barómeter) বলে।

অনার্দ্র ব্যারোমিটার (Aneroid Barometer)—যে যন্ত্রে পারদ কিংবা অন্য কোনরূপ তরল পদার্থ ব্যবহার না করিয়াও বায়ুর চাপ মাপিতে পারা যায় তাহাকে সাধারণতঃ **অনার্দ্র ব্যারোমিটার** (Aneroid Barometer) বলে।

আমরা নিম্নে কেবলমাত্র একটি পারদ ব্যারোমিটার এবং একটি অনার্দ্র ব্যারোমিটার সম্বন্ধে আলোচনা করিব।



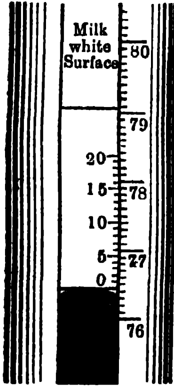
চিত্র 12K(i)

(ক) **ফর্টিনের ব্যারোমিটার** (Fortin's Barometer)—ইহা একটি পারদ ব্যারোমিটার। টরিসেলির পরীক্ষার উপর ভিত্তি করিয়া ফর্টিনের এই যন্ত্রটি উদ্ভাবিত হইয়াছে।

যন্ত্রের বর্ণনা—এই যন্ত্রে এক মিটার দৈর্ঘ্যের একমুখ-বন্ধ সমব্যাস-ছিদ্রযুক্ত একটি কাচের নল AB থাকে [12K(i) চিত্রে দেখ]। টরিসেলির পরীক্ষার ন্যায় এই কাচনলটিকে বিশুদ্ধ শুষ্ক পারদে পূর্ণ করিয়া উল্টাইয়া একটি পারদপাত্রে (D) স্থাপন করা হয়। ঐ নলের খোলা মুখ পাত্রস্থ পারদে সর্বদা ডুবানো থাকে। এই অবস্থায় নলের আনুমানিক তিন-চতুর্থাংশ দৈর্ঘ্য ব্যাপিয়া পারদস্তম্ভ খাড়াভাবে অবস্থান করে। পারদস্তম্ভের শীর্ষের উপরের অংশে টরিসেলির শূন্যস্থান (Torricellian Vacuum) থাকে। ব্যারোমিটার নলটি যাহাতে বাহির হইতে কোনরূপ আঘাত না পায় এইজন্য উহার চারিদিক ঘিরিয়া একটি পিতল নলের আবরণ আছে। এই নলটি একটি ফ্রেমে খাড়াভাবে আটকানো থাকে এবং উহার উপরিভাগের সামনে ও পিছনে কিছুটা অংশ লম্বালম্বিভাবে কাটা থাকায় পারদস্তম্ভের শীর্ষ বাহির হইতে দেখা যায়। এই পারদশীর্ষ আরও স্পষ্টভাবে দেখার জন্য পিতল নলটির পিছনের কাটা অংশে একটি সাদা প্লেট (Milk white plate) লাগানো থাকে। পারদস্তম্ভের শীর্ষের উচ্চতা নির্ভুলভাবে পাঠ করিবার জন্য সামনের কাটা অংশে একটি ভার্নিয়ার স্কেল G বসানো আছে। স্ক্রু (H) সাহায্যে এই ভার্নিয়ার স্কেলটিকে কাটা অংশ বাহিরা উঠা-নামা করানো হয়। 12K(ii) চিত্রে পৃথকভাবে এই ভার্নিয়ার

স্কেল এবং উহার সংলগ্ন পিতলের নলের গায়ে অঙ্কিত একটি সেণ্টিমিটার স্কেল দেখানো হইল।

12K(i) চিত্রের D পারদপাত্রের নীচের অংশ একটি শ্যাময় চামড়ার (Chamois leather) ব্যাগদ্বারা বদ্ধ থাকে। নীচের E স্ক্রুর সাহায্যে এই ব্যাগের তলায় আবশ্যক-মত চাপ প্রয়োগ করিয়া পারদপাত্রের পারদের মুক্ততল উঠানো বা নামানো যায়। শ্যাময় চামড়ার ব্যাগ ব্যবহারের তাৎপর্য এই যে এই চামড়ার সূক্ষ্ম সূক্ষ্ম ছিদ্রের মধ্য দিয়া বায়ু সহজে চলাচল করিতে পারে এবং ইহার ফলে পারদপাত্রের অভ্যন্তরস্থ বায়ু বাহিরের বায়ুর সমচাপে থাকে। পারদপাত্রের ঢাকনায় একটি সাদা পিন C (Ivory pointer) আছে। উহা পাত্রস্থ পারদের মুক্ততল স্পর্শ করিয়া থাকে। পারদস্তম্ভের উচ্চতা পরিমাপের মূল স্কেল এই পিনের সূঁচাল প্রান্ত হইতে সুরু হইয়াছে। সাধারণতঃ এই স্কেলের 70 হইতে 80 সেণ্টিমিটার পর্যন্ত অংশের অংশাঙ্কন পিতল নলের গায়ে দেখানো হয়, পুরাপুরি স্কেলটি দেখানো হয় না। ইহার কারণ, ভূপৃষ্ঠের কোনস্থানের বায়ুর চাপ কমিলে সাধারণতঃ পারদস্তম্ভের উচ্চতা 70 সে. মি.-র নীচে নামিয়া যায় না এবং বায়ুর চাপ বৃদ্ধি পাইলেও সাধারণতঃ পারদস্তম্ভের উচ্চতা 80 সে. মি.-র ঊর্ধ্বে উঠে না।



চিত্র 12K(ii)

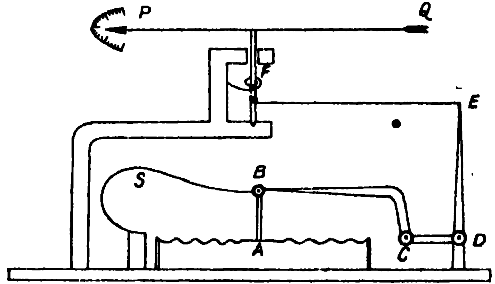
তাপমাত্রার পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে বায়ুর চাপের কিছুটা পরিবর্তন ঘটে বলিয়া এই ব্যারোমিটারের গায়ে একটি থার্মোমিটার লাগানো থাকে। ব্যারোমিটারের সাহায্যে বায়ুর চাপ নির্ণয় করিবার সময় কত ডিগ্রী তাপমাত্রায় ঐ চাপ নির্ণীত হইল তাহা উল্লেখ করিতে হয়।

ব্যারোমিটার পাঠের পদ্ধতি—পাঠ লইবার পূর্বে ব্যারোমিটারটিকে ওলন-দড়ির সাহায্যে উল্লম্ব করিয়া লও। অতঃপর E স্ক্রুর সাহায্যে পারদপাত্রের পারদের মুক্ততল C পিনের অগ্রভাগ স্পর্শ করাও। এবার H স্ক্রুর সাহায্যে ভার্নিয়ার স্কেলটি এমনভাবে স্থাপন কর যাহাতে ভার্নিয়ারের সূচক (শূন্য দাগ) পারদস্তম্ভের শীর্ষ স্পর্শ করে (12K(ii) চিত্র)। এমতাবস্থায় পারদস্তম্ভের শীর্ষের উপরিভাগের সাদা অংশ প্রায় অদৃশ্য হয়। এখন ভার্নিয়ারের সূচকটির অবস্থান পাঠ কর। মনে কর উহা মূলস্কেলের 76·4 cm. এবং 76·5 cm. দাগের মধ্যে অবস্থান করে। সুতরাং এক্ষেত্রে মূলস্কেলের পাঠ হইল 76·4 cm.। এখন বাকি অংশের পাঠ লইবার সময় আমাদের দেখিতে হইবে ভার্নিয়ারের কোন্ দাগ মূলস্কেলের একটি দাগের সহিত মিলিয়া গিয়াছে।

মনে কর, আমরা দেখিতে পাইলাম ভার্নিয়ারের দশম দাগ মূলস্কেলের একটি দাগের সহিত সমসূত্রে আসিয়াছে এবং মনে কর, ব্যারোমিটারটির ভার্নিয়ার ধ্রুবক (Vernier constant) ·005 cm.। সুতরাং এক্ষেত্রে ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ হইল $10 \times \cdot 005 = \cdot 05$ cm.। অতএব পারদস্তম্ভের উচ্চতার মোট পাঠ $= 76 \cdot 4 + \cdot 05 = 76 \cdot 45$ cm.। সুতরাং এই পাঠদ্বারা বুঝিতে হইবে বাতাসের চাপ 76·45 cm. পারদস্তম্ভের চাপের সমান।

(খ) **অনার্দ্র ব্যারোমিটার** (Aneroid Barometer)—পূর্ববর্ণিত ফর্টিনের পারদ ব্যারোমিটারের সাহায্যে নির্ভুলভাবে বায়ুর চাপ মাপা সম্ভব হইলেও উহাকে বিভিন্ন উচ্চতায় লইয়া বায়ুর চাপ নির্দেশ করা সহজসাধ্য নহে। কিন্তু অনার্দ্র ব্যারোমিটারকে আমরা সহজেই যে-কোন স্থানে লইয়া গিয়া উহার সাহায্যে মোটামুটি-ভাবে বায়ুর চাপ নির্ণয় করিতে পারি।

বিবরণ—12L রেখাচিত্রে এই অনার্দ্র ব্যারোমিটারের কার্যকারী অংশগুলি দেখানো হইল। চিত্রানুযায়ী আমরা দেখিতে পাই A একটি নিশ্ছিদ্র ধাতব বাক্স। ইহার চতুষ্পার্শ্ব শক্ত ধাতব চাদর দ্বারা নির্মিত এবং উপরের ডালাটি ঢেউ-খেলানো পাতলা ধাতব চাদরের তৈয়ারী। বাক্সটিকে পূর্বাহ্লেই মোটামুটি বায়ুশূন্য করা হয়। বাক্সের ডালার সহিত সংলগ্ন AB দণ্ডটি BC, CD এবং DE এই তিনটি লিভার-সমন্বিত ব্যবস্থার (Lever arrangement) সহিত সংযুক্ত। S একটি শক্ত ইস্পাত স্প্রিং। এই স্প্রিংটি থাকার জন্য বাক্সের পাতলা ডালাটি বায়ুর চাপ-পরিবর্তনে তুমড়াইয়া যাইতে পারে না। F খাড়াভাবে অবস্থিত একটি অক্ষদণ্ড (axle)। এই অক্ষদণ্ডটিতে একটি হেয়ার স্প্রিং (Hair spring) লাগানো থাকে এবং উহার গায়ে সুতা জড়ানো আছে। সুতার খোলা প্রান্ত সম্মিলিত লিভার সংস্থাপনের E প্রান্তে সংযুক্ত। PQ সূচকটি F দণ্ডের উপরপ্রান্তে অবস্থিত এবং এই সূচকটি একটি অংশাঙ্কিত অনুভূমিক বৃত্তাকার স্কেলের উপর যাতায়াত করিতে পারে। বিভিন্ন চাপে পারদ ব্যারোমিটারের পাঠের সঙ্গে তুলনা করিয়া এই বৃত্তাকার স্কেলটি অংশাঙ্কিত করা হয়। স্কেলটির উপর "ঝড়", "বৃষ্টি", "ভালো আবহাওয়া" প্রভৃতি কথা লেখা থাকে। সুতরাং সূচকটির স্কেলের উপর অবস্থান আবহাওয়া নির্দেশও করে।



চিত্র 12L

কার্যপদ্ধতি—বায়ুর চাপের সামান্য পরিবর্তনহেতু এই যন্ত্রের AB দণ্ডের অবস্থানের সামান্য পরিবর্তন ঘটিলে সম্মিলিত লিভার সংস্থাপনের বর্ধিত গতি দ্বারা এই পরিবর্তন উল্লেখযোগ্যভাবে পরিলক্ষিত হয়।

মনে কর, এই ব্যারোমিটারটি যেস্থানে রক্ষিত আছে সেস্থানের বায়ুর চাপ কোন কারণে বৃদ্ধি পাইয়াছে। এই চাপবৃদ্ধির জন্য উপরে বর্ণিত বাক্সের ঢাকনাসহ AB দণ্ডটি কিছু নীচে নামিয়া আসে। সেইসঙ্গে BC লিভারটির C প্রান্তও নীচের দিকে নামিয়া আসে। ফলে DE দণ্ডটি বামদিকে সরিয়া আসে এবং উহার সংলগ্ন সূতাটি ঢিলা হইয়া যায় ও সঙ্গে সঙ্গে হেয়ার স্প্রিংটি F অক্ষদণ্ডটিকে বামাভিমুখে ঘুরাইতে থাকে, যেপর্যন্ত না সূতাটি টান হয়। অক্ষদণ্ডটির এইভাবে ঘোরার ফলে উহার সংলগ্ন সূচকটিও স্কেলের উপর বাম হইতে ডান দিকে চলিয়া একটি নির্দিষ্ট দাগে আসিয়া পৌছায়। এই দাগের পাঠই নির্দেশ করে বাতাসের চাপ।

আবার যখন বায়ুর চাপ কমিয়া যায় তখন সূচকটি ডান হইতে বামদিকে সরিয়া আসিয়া ঐ চাপ নির্দেশ করে।

অনেকসময় কোন্ উচ্চতায় বাতাসের কিরূপ চাপ হইবে তাহা নির্ণয় করিবার জন্য এই অনার্দ্র ব্যারোমিটারে উচ্চতা-নির্দেশক স্কেল অঙ্কিত থাকে। এইরূপ ক্ষেত্রে অনার্দ্র ব্যারোমিটারকে অল্টিমিটার (Altimeter) অর্থাৎ উচ্চতা-মাপক যন্ত্র হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

12·11. ব্যারোমিটারের সাহায্যে আবহাওয়ার পূর্বাভাষ (Uses of Barometer in weather forecasting): যদি কোনস্থানে ব্যারোমিটারের পাঠ হঠাৎ কমিয়া যায় (অর্থাৎ পারদস্তম্ভের উচ্চতা হঠাৎ কম হইয়া যায়) তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে ঐ স্থানে যে-কোন কারণেই হউক বাতাসের চাপ কম হইয়া গিয়াছে। সুতরাং চাপের সমতারক্ষার জন্য পার্শ্ববর্তী স্থানের উচ্চচাপের বায়ু প্রবলবেগে ঐ স্থানে প্রবাহিত হইবে। ইহার ফলে ঝড়ের উৎপত্তি হয়। কাজেই আমরা দেখিতে পাই **কোনস্থানে ব্যারোমিটারের পাঠ হঠাৎ কমিয়া গেলে উহা আসন্ন ঝড়ের ইঙ্গিত করে।**

আবার, যদি কখনও দেখা যায় যে, ব্যারোমিটারের পাঠ দিনের পর দিন ক্রমাগত কমিয়া যাইতেছে (অর্থাৎ ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা ক্রমাগত কম হইয়া যাইতেছে), তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে বাতাসের মধ্যে ক্রমাগত জলীয় বাষ্পের অংশ বৃদ্ধি পাইতেছে এবং ইহার ফলেই বাতাসের চাপ ক্রমাগত কমিয়া যায়। কারণ আমরা জানি জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব শুষ্ক বাতাসের ঘনত্বের তুলনায় অনেক কম।

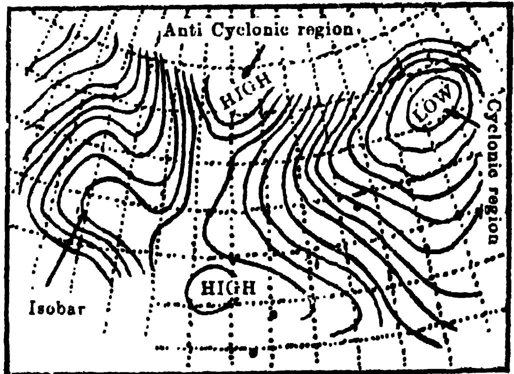
বাতাসে জলীয় বাষ্পের অংশ বেশী হইলে বৃষ্টির সম্ভাবনা দেখা দেয়। **সুতরাং ব্যারোমিটারের পাঠ ক্রমাগত কমিয়া যাওয়ার অর্থই হইল আসন্ন বৃষ্টির পূর্বাভাষ।**

যখন দিনের পর দিন দেখা যায় যে ব্যারোমিটারের পাঠ ক্রমাগত কিছুটা করিয়া বৃদ্ধি পাইতেছে তখন আমরা বুঝিব যে বাতাসে জলীয় বাষ্পের অংশ ক্রমাগত কমিয়া যাইয়া বাতাস শুষ্ক হইতেছে। সুতরাং **ব্যারোমিটারের ঐ প্রকার পাঠ শুষ্ক এবং নির্মল আবহাওয়া নির্দেশ করে।** সাধারণতঃ ফাল্গুন-চৈত্রমাসে আমরা এই ধরনের আবহাওয়া বিশেষভাবে লক্ষ্য করি।

কাজেই আমরা দেখিতে পাই যে, অনেক সময় ব্যারোমিটারের পাঠ কার্যকারী-ভাবে আবহাওয়ার পূর্বাভাষ ইঙ্গিত করে।

12·12. ঘূর্ণবাত ও প্রতীপ ঘূর্ণবাত (Cyclones and Anti-Cyclones): আমাদের দেশে বিভিন্ন স্থানে আবহাওয়া-অফিস বসানো হইয়াছে। এই আবহাওয়া-অফিসগুলি অনেকসময় স্থানীয় আবহাওয়ার পূর্বাভাষ দিয়া থাকে।

বিভিন্ন আবহাওয়া-অফিসের নির্ধারিত বাতাসের চাপ একসঙ্গে সংগ্রহ করিয়া মানচিত্র তৈয়ারী করা হয়। ঐ মানচিত্রে সমচাপের স্থানগুলিকে নির্দেশ করিয়া নিরবচ্ছিন্ন রেখা দ্বারা সংযুক্ত করা হয়। ঐ রেখাগুলিকে **সমচাপ রেখা** (Isobars) বলে। 12M চিত্রে এই সমচাপ-বিশিষ্ট কতকগুলি রেখা দেখানো হইল। ঐ রেখা-সমন্বিত চিত্রটিকে বলা হয় **আবহাওয়া মানচিত্র** বা **Weather Chart।**



চিত্র 12M

উচ্চ মানের অর্থাৎ উচ্চ চাপের রেখাগুলি যেস্থানে পুঞ্জীভূত, ঐ স্থানকে বলা হয় **প্রতীপ ঘূর্ণবাত অঞ্চল** (Regions of Anti-Cyclone)। **এই প্রতীপ ঘূর্ণবাত নির্দেশ করে সুন্দর আবহাওয়া।**

যেস্থানগুলিতে লঘুচাপের রেখাগুলি পুঞ্জীভূত, সেইস্থানকে বলা হয় **ঘূর্ণবাত অঞ্চল** (Cyclonic region)। এই ঘূর্ণবাত নির্দেশ করে দুর্যোগপূর্ণ আবহাওয়া।

এই ঘূর্ণবাত এবং প্রতীপ ঘূর্ণবাত কোন অঞ্চলে স্থায়ী থাকে না।

12·13. বয়েলের সূত্র (Boyle's Law)ঃ আমরা পূর্বেই বলিয়াছি যে কঠিন এবং তরল পদার্থ অসংনম্য কিন্তু গ্যাস বিশেষভাবে সংনম্য অর্থাৎ তাপমাত্রার পরিবর্তন না করিয়াও কেবল চাপের সামান্য পরিবর্তনেই কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয়।

অপরিবর্তিত তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন এবং উহার আনুষঙ্গিক চাপের পারস্পরিক সম্পর্ক **বয়েলের সূত্র** দ্বারা নির্ধারিত হইয়া থাকে।

বয়েলের সূত্রঃ তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিলে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন, উহার আনুষঙ্গিক চাপের সহিত ব্যস্তানুপাতিক (inversely proportional)। মনে কর, তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিয়া কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন V, যখন উহার আনুষঙ্গিক চাপ P। সুতরাং উপরোক্ত সূত্র হিসাবে উহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক গাণিতিক সঙ্কেতে নির্দেশিত হইয়া থাকে—

$$V \propto \frac{1}{P}$$

অথবা $VP = k$ (ধ্রুবক)।

বয়েলের সূত্র সাধারণতঃ এই সমীকরণটির দ্বারা নির্দেশিত হইয়া থাকে।

এখন মনে কর, তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিয়া কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন দেখা গেল V_1, V_2, V_3 ইত্যাদি, যখন উহার আনুষঙ্গিক চাপ যথাক্রমে P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি। বয়েলের সূত্রের সমীকরণ হিসাবে,

$$V_1P_1 = V_2P_2 = V_3P_3 \text{ ইত্যাদি।}$$

বয়েলের সূত্র হিসাবে গ্যাসের ঘনত্ব এবং চাপের পারস্পরিক সম্পর্ক—আমরা জানি তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিলে কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের ঘনত্ব (D) উহার আয়তনের (V) সহিত ব্যস্তানুপাতিক হয়।

সুতরাং $V \propto \frac{1}{D}$

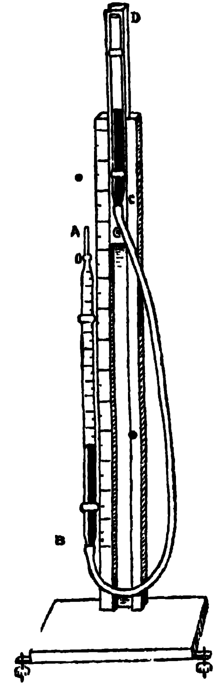
বয়েলের সূত্র হিসাবে আমরা দেখিয়াছি,

$$V \propto \frac{1}{P}$$

সুতরাং $D \propto P.$

অথবা $\frac{D_1}{P_1} = \frac{D_2}{P_2}$ ইত্যাদি [এক্ষেত্রে D_1, D_2 ইত্যাদি গ্যাসের ঘনত্ব যখন উহার আনুষঙ্গিক চাপ P_1, P_2 ইত্যাদি।]

12·14. পরীক্ষার দ্বারা বয়েলের সূত্রের সত্যতা নির্ণয় (Experimental verification of Boyle's law) : যে যন্ত্রের সাহায্যে বয়েলের সূত্রের সত্যতা নির্ধারিত করা হয় সেই যন্ত্রকে আমরা 'বয়েলের যন্ত্র' (Boyle's apparatus) বলিয়া থাকি। 12N চিত্রে একটি বয়েলের যন্ত্র দেখানো হইল। চিত্রানুযায়ী আমরা দেখিতে পাই *AB* এবং *CD* দুইটি কাচের নল। এই নল দুইটি স্কেল-সংযুক্ত একটি খাড়া কাঠের ফ্রেমের দুইপার্শ্বে অবস্থিত। *AB* নলের উপরের দিক স্টপ্-কক্ (Stop-cock) সংযুক্ত এবং নীচের দিক খোলা। কিন্তু *CD* নলের উভয় মুখই খোলা। এই নল দুইটির নীচের খোলা প্রান্তদ্বয় একটি নমনীয় (flexible) রবার-নল দ্বারা সংযুক্ত। *AB* নলটি কাঠের ফ্রেমের সুবিধামত স্থানে আটকানো থাকে কিন্তু *CD* নলটিকে স্কেলের গা বাহিয়া উঠানামা করানো চলে। স্টপ্-ককের সাহায্যে *AB* নলের উপরিভাগ প্রয়োজনমত বিশুদ্ধ শুষ্ক বায়ু দ্বারা ভর্তি করা হয় এবং নলটির অবশিষ্টাংশ, সংযুক্ত রবারের টিউব এবং *CD* নলের কিয়দংশ বিশুদ্ধ শুষ্ক পারদ দ্বারা পূর্ণ করা হয়। *AB* নলটি অনেকসময় ঘন-সেন্টিমিটারে (in c. c.) অংশাঙ্কিত থাকে। সুতরাং নলটির অভ্যন্তরে পারদশীর্ষের অবস্থান দেখিয়া সরাসরিভাবে বাতাসের আয়তন ঘন-সেন্টিমিটারে নির্ণয় করা যায়।



চিত্র 12N

বিশুদ্ধ শুষ্ক বায়ু গ্যাসের পর্যায়ভুক্ত। এই হিসাবে নিম্নলিখিতভাবে বায়ুর সাহায্যে বয়েলের সূত্রের সত্যতা নির্ণয় করা হয়।

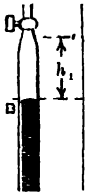
কার্যপদ্ধতি—বুঝিবার সুবিধার জন্য এই কার্যপদ্ধতি তিন ভাগে বিভক্ত করা হয়।

(1) বায়ুমণ্ডলের সমচাপে রাখিয়া AB নলের বায়ুর আয়তন নির্ণয়—*CD* নলকে উপর-নীচ করিয়া ইহাকে ফ্রেমের এমন স্থানে অবস্থান করাও

যাহাতে উভয় নলের মধ্যে পারদশীর্ষ একই তলে থাকে। এই অবস্থায় AB নলের মধ্যে বাতাসের আয়তনের পাঠ লও। মনে কর, এই আয়তন V। যেহেতু উভয় নলের মধ্যে পারদশীর্ষ একই অনুভূমিক তলে অবস্থিত, সুতরাং AB নলের মধ্যে বায়ুর চাপ (P) বাহিরের বায়ুর চাপের সমান। মনে কর, বাহিরের বাতাসের চাপ নির্দেশিত হইল H cm.। সুতরাং, AB নলের বাতাসের আয়তন যখন V, তখন উহার আনুষঙ্গিক চাপ $P = H$ cm. পারদস্তম্ভের চাপ।

(2) **বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা অধিকতর চাপে রাখিয়া AB নলের বায়ুর বিভিন্ন আয়তন ও আনুষঙ্গিক চাপ নির্ণয়**—এখন CD নলটি আস্তে আস্তে কিছু উপরের দিকে উঠাও, দেখিবে AB নলের পারদশীর্ষ যদিও পূর্বাপেক্ষা কিছুটা উপরে উঠিয়াছে কিন্তু CD নলের পারদশীর্ষ AB নলের পারদশীর্ষ অপেক্ষা আরও উপরে উঠিয়া গিয়াছে এবং AB নলের পারদশীর্ষ উপরে উঠিয়া যাওয়ায় AB নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর আয়তন কমিয়া গিয়াছে।

এমতাবস্থায় মনে কর AB নলের বায়ুর এই আয়তন V_1। এখন AB নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপের পরিমাণ নির্দেশ করিবার জন্য AB নলের পারদশীর্ষ হইতে একটি অনুভূমিক রেখা টানিয়া লও। এই অনুভূমিক রেখা হইতে CD নলের পারদশীর্ষের উচ্চতা স্কেল দ্বারা নির্ণয় কর। মনে কর, ইহা h_1 cm. (12P চিত্র দেখ)।



চিত্র 12P

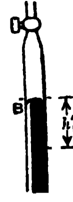
সুতরাং এক্ষেত্রে AB নলের বায়ুর মোট চাপ $P_1 = (H + h_1)$ cm. পারদস্তম্ভের চাপ। এবং আনুষঙ্গিক বায়ুর আয়তন V_1।

অনুরূপভাবে CD নলকে ক্রমাগত উপরের দিকে উঠাইয়া AB নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর আয়তন এবং উহার আনুষঙ্গিক চাপের আরও কয়েকটি পাঠ লও। মনে কর,

V_2 যখন বায়ুর আয়তন তখন উহার চাপ $P_2 = (H + h_2)$ cm. পারদস্তম্ভের চাপ,
V_3 যখন বায়ুর আয়তন তখন উহার চাপ $P_3 = (H + h_3)$ cm. পারদস্তম্ভের চাপ ইত্যাদি

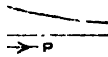
(3) **বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা নিম্নতর চাপে রাখিয়া AB নলের বায়ুর বিভিন্ন আয়তন ও আনুষঙ্গিক চাপ নির্ণয়**—এক্ষেত্রে CD নলটিকে আস্তে আস্তে নীচের দিকে নামাইয়া এমন স্থানে আন যখন AB নলের পারদশীর্ষ উহার প্রথম পরীক্ষাকালীন অবস্থান হইতে নীচে নামিয়া আসে এবং সঙ্গে সঙ্গে CD নলের পারদশীর্ষও AB নলের পারদশীর্ষের অবস্থান হইতে নীচে নামিয়া আসে। সুতরাং এখন AB নলের বায়ুর চাপ বাহিরের বাতাসের চাপ অপেক্ষা কম হইবে। এমতাবস্থায়

মনে কর, AB নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর আয়তন V_1' এবং উহার আনুষঙ্গিক চাপ $P_1'=(H-h_1')$ cm. পারদস্তম্ভের চাপ। এক্ষেত্রে h_1' নির্দেশ করে নল দুইটির পারদশীর্ষের ব্যবধান (12Q চিত্র দ্রষ্টব্য)।


চিত্র 12Q

অনুরূপভাবে CD নলকে ক্রমাগত নীচে নামাইয়া আরও কয়েকটি পাঠ লও। মনে কর, নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর আয়তন যথাক্রমে V_2', V_3' ইত্যাদি এবং উহার আনুষঙ্গিক চাপ $P_2'=(H-h_2')$ cm., $P_3'=(H-h_3')$ cm. ইত্যাদি পারদস্তম্ভের চাপ।

যদি উপরোক্ত পাঠগুলি ঠিকমত লওয়া হয় তাহা হইলে দেখিতে পাইবে প্রতিক্ষেত্রেই বায়ুর আয়তন এবং আনুষঙ্গিক চাপের গুণফল মোটামুটি সমান। ইহা দ্বারাই বয়েলের সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়। বয়েলের সূত্রের সত্যতা বিকল্পভাবেও প্রমাণ করা সম্ভব। আমরা দেখিয়াছি বয়েলের সূত্র হিসাবে $VP=$ ধ্রুবক। এই সমীকরণটি নির্দেশ করে যে তাপমাত্রা ঠিক রাখিয়া কোন নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট গ্যাসের বিভিন্ন আয়তন ও উহার আনুষঙ্গিক চাপের পারস্পরিক সম্পর্ক একটি আয়তাকার পরাবৃত্ত (Rectangular hyperbola) দ্বারা নির্দেশিত হয়।



চিত্র 12R

12R চিত্রে এইরূপ ধরনের একটি আয়তাকার পরাবৃত্ত দেখানো হইল। এই ধরনের আয়তাকার পরাবৃত্তকে উক্ত গ্যাসের 'সম-উষ্ণতা লেখ'ও (Isothermal) বলা হইয়া থাকে।

উদাহরণ। (1) একটি ব্যারোমিটার নলের মধ্যে পারদস্তম্ভের উচ্চতা 75 cm. এবং নলটির উপরিভাগের শূন্যস্থানের আয়তন 10 c.c.। বাহিরের বাতাসের চাপে এক ঘন-সেন্টিমিটার আয়তনের বাতাস নলটির শূন্যস্থানে প্রবেশ করানো হইল। ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের নতুন পাঠ কি দাঁড়াইবে তাহা নির্ণয় কর (ব্যারোমিটার নলটির প্রস্থচ্ছেদ এক বর্গ-সেন্টিমিটার)। [The height of a barometer is 75 cm. of mercury and the evacuated space over mercury surface has a volume of 10 c.c. ; 1 c.c. of air at atmospheric pressure is introduced into the evacuated space. What is the new reading of the baromater ? (Cross-section of the tube is unity.)] [C. U. 1922]

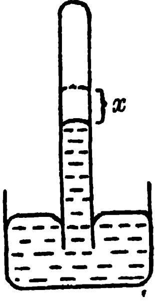
উত্তর। মনে কর, এক ঘন-সেন্টিমিটার বাতাস শূন্যস্থানে প্রবেশ করানোর ফলে নলের পারদস্তম্ভশীর্ষ x সেন্টিমিটার নীচে নামিয়া আসিল (12S চিত্রটি দেখ)।

∴ নলের অভ্যন্তরস্থ ঐ বাতাসের চাপ P_2

= x সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের চাপ,

এবং বাতাসের বর্তমান আয়তন V_2

$= (10+x)$ c.c.।



চিত্র 12S

বাতাসের পূর্বের আয়তন $V_1 = 1$ c.c.

বাতাসের পূর্বের চাপ $P_1 = 75$ cm.

এখন বয়েলের সূত্র হিসাবে, $V_2P_2 = V_1P_1$

∴ $(10+x)x = 75 \times 1,$

অথবা $10x + x^2 = 75.$

∴ $x = 5$ cm. অথবা, $x = -15$ cm.

যেহেতু x এর মান ধনাত্মক, সুতরাং $x = 5$ cm.

কাজেই ব্যারোমিটারের নতুন পাঠ

$= (75 - 5)$ cm.

$= 70$ cm.

(2) কোন হ্রদের তলদেশ হইতে একটি বায়ু-বুদ্‌বুদ উপরিভাগে উঠিয়া আসিলে ঐ বায়ু-বুদ্‌বুদটির আয়তন দশগুণ বৃদ্ধি পায়। যদি ব্যারোমিটারের পাঠ 30 ইঞ্চি হয় তাহা হইলে হ্রদের গভীরতা কত তাহা নির্ণয় কর (পারদের ঘনত্ব 13·6 gms./c.c.)। [The volume of an air-bubble increases tenfold in rising from the bottom of a lake to its surface. If the barometric height be 30 inches, find the depth of the lake. (Density of mercury 13·6 gms./c.c.)]

উত্তর। যেহেতু পারদের ঘনত্ব 13·6 gms./c.c.

সুতরাং ব্যারোমিটার নলে যদি পারদ না লইয়া জল লওয়া হইত তাহা হইলে ঐ ব্যারোমিটারে জল-স্তম্ভের উচ্চতার পাঠ দাঁড়াইত

$= 30 \times 13{\cdot}6$ inches.

মনে কর, হ্রদের তলদেশে বায়ু-বুদ্‌বুদটির আয়তন V_1, উহার চাপ P_1 এবং হ্রদের গভীরতা H।

এখানে P_1 = বাহিরের বাতাসের চাপ + H গভীরতায় জল-স্তম্ভের চাপ

$= (30 \times 13{\cdot}6 + H)$ inches জল-স্তম্ভের চাপ।

মনে কর, বুদ্বুদটি যখন হ্রদের উপরিভাগে আসিয়া পৌছায় তখন উহার আয়তন V_2।

প্রশ্নানুসারে, $V_2 = 10 \times V_1$

এবং উহার চাপ P_2 = বাহিরের বাতাসের চাপ

$= (30 \times 13{\cdot}6)$ inches জল-স্তম্ভের চাপ

বয়েলের সূত্র হিসাবে, $V_2P_2 = V_1P_1$;

সুতরাং এক্ষেত্রে, $V_2 \times 30 \times 13{\cdot}6 = V_1(30 \times 13{\cdot}6 + H)$

অথবা, $10V_1 \times 30 \times 13{\cdot}6 = V_1(30 \times 13{\cdot}6 + H)$

অথবা, $10 \times 13{\cdot}6 \times 30 = 13{\cdot}6 \times 30 + H$.

$$\therefore \quad H = 10 \times 13{\cdot}6 \times 30 - 13{\cdot}6 \times 30$$

$$= 9 \times 13{\cdot}6 \times 30 \text{ inches}$$

$$= \frac{9 \times 13{\cdot}6 \times 30}{12}$$

$$= 306 \text{ ft.}$$

সুতরাং, হ্রদটির গভীরতা 306 ft.।

(3) স্বাভাবিক চাপ এবং তাপমাত্রায় 1 c.c. আয়তনের বায়ুর ভর ·001293 gm.। প্রমাণ চাপের দশগুণ চাপে এবং 0°C তাপমাত্রায় 10 লিটার আয়তনের বায়ুর ভর নির্ণয় কর। [Calculate the mass of 10 litres of air at a pressure of 10 atmospheres and at a temperature of 0°C. 1 c.c. of air at N.T.P. has mass ·001293 gm.]

উত্তর। প্রশ্ন হিসাবে বায়ুর ঘনত্ব $D_0 = {\cdot}001293$ gm./c.c., যখন বায়ুর প্রমাণ চাপ P_0.

আবার, মনে কর বায়ুর ঘনত্ব D, যখন উহার চাপ $P = 10 \times P_0$.

এখন বয়েলের সূত্রের সিদ্ধান্ত হিসাবে, $\frac{D}{P} = \frac{D_0}{P_0}$

অথবা, $D = \frac{D_0}{P_0} \times P = \frac{{\cdot}001293}{P_0} \times 10 \times P_0$

$= 0{\cdot}01293$ gm./c.c.

সুতরাং, 10 লিটার বাতাসের ভর

$= 10 \times 1000 \times D = 10 \times 1000 \times {\cdot}01293$

$= 129{\cdot}3$ gms.

সারাংশ

বায়ুমণ্ডলের চাপ—পৃথিবীপৃষ্ঠের প্রতি একক বর্গক্ষেত্র বায়ুমণ্ডলের সামগ্রিক ওজনের যে অংশ বহন করে উহাই নির্দেশ করে বায়ুমণ্ডলের চাপ। প্রতি বর্গইঞ্চিতে বায়ুমণ্ডলের চাপ 14·7 পাউণ্ড।

বায়ুর বিভিন্নমুখী চাপের অস্তিত্ব নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলি দ্বারা দেখানো হইয়া থাকে; যথা—(ক) রবারের পর্দা-ফাটানো পরীক্ষা, (খ) কাচের গ্লাস ও পোস্টকার্ড পরীক্ষা, (গ) টিনের পাত্র-তুমড়ানো পরীক্ষা, (ঙ) ম্যাগ্‌ডেবার্গ গোলার্ধ পরীক্ষা, (চ) ব্লাডার-স্ফীতি পরীক্ষা, এবং (ছ) টরিসেলির পরীক্ষা।

টরিসেলির পরীক্ষা দ্বারা বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাণ গাণিতিক সঙ্কেতে নির্ণয় করিতে পারা যায়। বায়ুমণ্ডলের এই চাপের পরিমাণ $= H \times \rho$ (পারদের ঘনত্ব) $\times g$. বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপের অর্থ: 0°C তাপমাত্রায় সমুদ্রপৃষ্ঠে 45° অক্ষাংশে 76 cm. দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের যে চাপ উহাই নির্দেশ করে বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ।

ব্যারোমিটার—বায়ুর চাপ মাপিবার যন্ত্রকে ব্যারোমিটার বলে। ব্যারোমিটার বিভিন্ন রকমের হইতে পারে; যথা—ফর্টিন পারদ ব্যারোমিটার, অনার্দ্র ব্যারোমিটার ইত্যাদি। ব্যারোমিটার পাঠ হইতে আমরা পর্বত ইত্যাদির উচ্চতা নির্ণয় করিতে পারি, আবহাওয়ার পূর্বাভাষ জানিতে পারি, ইত্যাদি।

বয়েলের সূত্র—তাপমাত্রা অপরিবর্তনীয় থাকিলে কোন নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট গ্যাসের আয়তন ঐ গ্যাসের আনুষঙ্গিক চাপের ব্যস্তানুপাতিক।

গাণিতিক সঙ্কেতে এই উক্তি $V \propto \frac{1}{P}$

অথবা $VP =$ ধ্রুবক দ্বারা লিখা হয়।

বয়েলের যন্ত্রের সাহায্যে পরীক্ষাগারে বয়েলের সূত্রের যথার্থতা নির্ণয় করা হয়।

প্রশ্নমালা

1. বায়ুমণ্ডল এবং বায়ুমণ্ডলের চাপ বলিতে কি বোঝ? [What do you mean by atmosphere and atmospheric pressure ?]

2. বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্বচাপ, নিম্নচাপ এবং পার্শ্বচাপের অস্তিত্ব বিভিন্ন পরীক্ষার সাহায্যে সংক্ষেপে বুঝাইয়া লিখ। [Write in short the different experiments to show the existence of atmospheric pressure in the downward, upward and sideway directions.]

3. টরিসেলির পরীক্ষাটি বর্ণনা কর এবং ঐ পরীক্ষার পারদস্তম্ভের উচ্চতার সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাণ নির্ণয় কর।

টরিসেলির শূন্যস্থান কি? ইহা কি সত্যসত্যই শূন্যস্থান? টরিসেলির পরীক্ষার নলের ছিদ্র মোটা বা সরু হওয়ায় তরলস্তম্ভের উচ্চতার কোন পার্থক্য ঘটিবে কি?

[Describe Torricelli's experiment and calculate the magnitude of atmospheric pressure in terms of the height of mercury column.

What is Torricelli's vacuum? Is it really a vacuum? Will there be any change in the reading of the mercury column when the bore of the tube be wide or narrow?]

4. নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে টরিসেলির পরীক্ষায় কি পরিলক্ষিত হইবে বুঝাইয়া দাও—

(ক) যদি পারদসহ নলটিকে ক্রমশঃ আনত করা হয়;

(খ) নলটির খোলা মুখ পারদপাত্রে নিমজ্জিত রাখিয়া উহাকে পারদপাত্রে উঠানামা করানো হয়;

(গ) টরিসেলির শূন্যস্থানে কিছু পরিমাণ বাতাস প্রবেশ করাইয়া যদি পারদপাত্রে নলটিকে উঠানামা করানো হয়;

(ঘ) বায়ু-পাম্পের রিসিভারের মধ্যে পারদপাত্রসহ টরিসেলির নলটিকে রাখিয়া ক্রমশঃ যখন বায়ু নিষ্কাশিত করা হয়;

(ঙ) একটি উচ্চ পাহাড়ের পাদদেশে এবং উহার উপরিভাগে টরিসেলির পরীক্ষাটি যখন সম্পন্ন করা হয়।

[Explain, what happens in a Torricelli's experiment, if—

(a) the tube with the mercury be gradually inclined;

(b) the tube be lowered or raised keeping the open end dipped in mercury;

(c) some air be introduced in the Torricellian vacuum and the tube is lowered or raised;

(d) the tube is placed under the receiver of an air-pump and the air is exhausted gradually;

(e) the experiment is performed at first at the foot of a mountain and then at its top.]

5. চিত্রসহ একটি ফর্টিনের ব্যারোমিটার বর্ণনা কর এবং কিরূপে উহা ব্যবহার করিবে বুঝাইয়া দাও। [Describe a Fortin's Barometer and explain how you will use it.]

6. একটি অনার্দ্র ব্যারোমিটারের সংক্ষিপ্ত বিবরণসহ কার্যপদ্ধতি এবং ব্যবহার

বুঝাইয়া দাও। [Describe an Aneroid Barometer explaining its action and use.]

7. 'কোনস্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ প্রতি-বর্গইঞ্চিতে প্রায় 15 পাউণ্ড'—এই উক্তিটির তাৎপর্য বিশদভাবে ব্যাখ্যা কর। [Explain fully the meaning of the statement that the atmosphere exerts a pressure of 15 lbs. per square inch nearly.]

8. 'কোনস্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ 760 m. m. পারদস্তম্ভের চাপের সমান'—এই উক্তিটির অর্থ বুঝাইয়া দাও। সি.জি.এস্. পদ্ধতিতে এই চাপের পরিমাণ নির্ণয় কর যখন অভিকর্ষজাত ত্বরণ $g=980$ সি.জি.এস্. একক এবং পারদের ঘনত্ব = 13·6 gms./c.c। [Explain the meaning of the statement that the atmospheric pressure at a place is 760 m.m. of mercury. Calculate its value in the C.G.S. units at a place where $g=980$ C.G.S. units, the density of mercury being 13·6 gms./c. c.] [H. S. Exam. 1960]

9. কোনস্থানের ব্যারোমিটারের পাঠ হইতে পার্শ্ববর্তী স্থানের আবহাওয়ার পূর্বাভাষ কি প্রকারে পাওয়া যায় তাহা বুঝাইয়া দাও। [Explain how with the help of a barometer reading, a short range forecast of weather can be made.]

10. বয়েলের সূত্র বিবৃত কর এবং উহার সত্যতা পরীক্ষাদ্বারা বুঝাইয়া দাও।

বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা অধিক চাপে এবং নিম্নচাপে উহার সত্যতা কিরূপে নিরূপণ করিতে পারা যায় তাহা পরীক্ষার সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।

[State Boyle's Law and describe an experiment to verify it. [C. U. 1944]

Describe how the law may be verified for pressures greater than and less than the barometric pressure.] [C. U. 1952]

11. একটি নির্ভুল ব্যারোমিটারের পাঠ 75 cms.। ঐ ব্যারোমিটারের শূন্যস্থানে এক সি.সি. বাতাস প্রবেশ করাইলে ব্যারোমিটারটির পাঠ 70 cms. দাঁড়ায়। ইহার শূন্যস্থানের আয়তন নির্ণয় কর। [A barometer reads 75 cms. On admitting 1 c.c. of air in empty space the reading is 70 cms. Calculate the volume of the space.] [*Ans.* 15 c.c.]

12. একটি হ্রদের কত গভীরতা হইতে একটি বায়ু-বুদ্‌বুদ উপরে আসিয়া পৌছাইলে উহা তাহার আয়তনের দ্বিগুণ হইবে তাহা নির্ণয় কর। পারদের ঘনত্ব 13·6 gms./c. c. এবং ঐ সময়ে বাতাসের চাপ 76 cms. [From what depth

of a lake will a bubble of air rise, so that on reaching the water-surface, it will acquire twice its volume? The height of the barometer at the time is 76 cms. and density of the mercury 13·6 gms. per c. c.] [U. P. Board 1928] [*Ans.* 1033·6 cm.]

13. একটি নির্ভুল ব্যারোমিটারের পাঠ 30 ইঞ্চি এবং উহার শূন্যস্থানের দৈর্ঘ্য 1 ইঞ্চি। বায়ুমণ্ডলের চাপে যদি কিছু পরিমাণ বাতাস ঐ ব্যারোমিটারের নলে এক ইঞ্চি স্থান অধিকার করে তাহা হইলে ঐ বায়ু ব্যারোমিটারে প্রবেশ করাইলে ব্যারোমিটারের পাঠ কি হইবে তাহা নির্ণয় কর। [A barometer reads 30 inches and the space above the mercury one inch. If a quantity of air which under atmospheric pressure occupies 1 inch of the tube, is introduced, what will be the reading of the barometer?]

[All. U. 1931] [*Ans.* 25 inches]

14. একমুখ-বন্ধ 150 cm. দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি ব্যারোমিটার নলের অর্ধেক পারদ দ্বারা পূর্ণ করা হইল। অতঃপর উহাকে একটি পারদপাত্রে এমনভাবে উল্টাইয়া রাখা হইল যাহাতে নলের অভ্যন্তরস্থ কোন বায়ু বাহিরে চলিয়া আসিতে না পারে। যদি কোন ব্যারোমিটারের পাঠ 75 cm. হয় তাহা হইলে ঐ নলের মধ্যে পারদস্তম্ভের উচ্চতা কত হইবে তাহা নির্ণয় কর। [A tube closed at one end is 150 cm. long. It is half filled with mercury and then inverted on a mercury trough, making sure that no air escapes from the tube. If a barometer reads 75 cm., what is the vertical height of the mercury column inside the tube?] [C. U. 1931] [*Ans.* 28·6 cms.]

15. একটি নির্ভুল ব্যারোমিটারের পাঠ যখন 29·5 ইঞ্চি হয় তখন শূন্যস্থানে কিছু বায়ুবিশিষ্ট একটি ভুল ব্যারোমিটারের পাঠ 28·5 ইঞ্চি দেখা গেল। আবার এই ভুল ব্যারোমিটারের পাঠ যখন 29·5 ইঞ্চি হয় তখন নির্ভুল ব্যারোমিটারটির পাঠ দেখা গেল 30·7 ইঞ্চি। যখন এই ভুল ব্যারোমিটারটির পাঠ 29·9 ইঞ্চি হয় তখন নির্ভুল ব্যারোমিটারটির পাঠ কত হইবে তাহা নির্ণয় কর। [A faulty barometer with little air in Torricellian space reads 28·5 inches when a true barometer reads 29·5 inches and it reads 29·5 inches, when the other barometer reads 30·7 inches. Determine the correct value of the atmospheric pressure when the faulty barometer reads 29·9 inches.] [*Ans.* **নির্ভুল ব্যারোমিটারের পাঠ = 31·2 inches**]

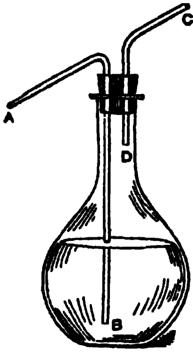
ত্রয়োদশ পরিচ্ছেদ

বায়ুর চাপসাপেক্ষ বিবিধ যন্ত্র

(Different appliances depending on atmospheric pressure)

নিম্নবর্ণিত যন্ত্রগুলি বাতাসের চাপের অস্তিত্বের উপর নির্ভর করিয়া কার্যকর হইয়াছে। যদি বাহিরের বাতাসের চাপ না থাকিত তাহা হইলে ব্যবহারিক ক্ষেত্রে উহাদের আদৌ কোন প্রযোজনীয়তা থাকিত না।

13·1. Wash bottle : বিবরণ—রাসায়নিক পরীক্ষাগারে এই যন্ত্রটি বহুল প্রচলিত। এই যন্ত্রটি একটি কাচের বড ফ্লাস্ক লইয়া গঠিত। ফ্লাস্কটির প্রায় তিন-চতুর্থাংশ জলপূর্ণ থাকে এবং ইহার মুখ একটি কর্কের সাহায্যে বায়ুনিরুদ্ধ করিয়া আটকানো। এই কর্কের মধ্য দিয়া *AB* এবং *CD* দুইটি কাচের নল প্রবেশ করানো হইয়াছে (13A চিত্র)। *AB* নলের নীচের খোলা মুখ ফ্লাস্কের জলের মধ্যে নিমজ্জিত এবং ইহার বাহিরের সরু মুখ (tappering end) বাতাসে উন্মুক্ত। *CD* নলেরও দুই মুখ খোলা। ইহার *C* মুখ বাহিরের বাতাসে উন্মুক্ত এবং *D* মুখ ফ্লাস্কের অভ্যন্তরস্থ বায়ুতে উন্মুক্ত।



চিত্র 13A

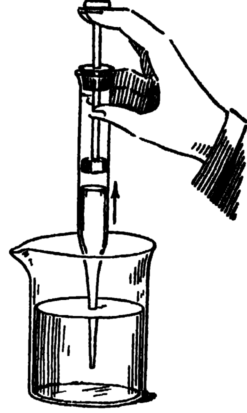
কার্যপদ্ধতি—*CD* নলের সাহায্যে ফ্লাস্কের অভ্যন্তরস্থ বায়ু বাহিরের বায়ুর সঙ্গে সংযোগ রক্ষা করে। ফ্লাস্কের অভ্যন্তরস্থ জলের উপর বায়ুর চাপ বাহিরের বাতাসের চাপের সমান। এখন *CD* নলের *C* প্রান্তে মুখ লাগাইয়া যদি ফুঁ দেওয়া হয়, তাহা হইলে ফ্লাস্কের মধ্যে অতিরিক্ত বাতাস প্রবেশ করিয়া ফ্লাস্কের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ বৃদ্ধি করিবে। এই বর্ধিত চাপ ফ্লাস্কের অভ্যন্তরস্থ জলের উপরও প্রযুক্ত হওয়ায় *AB* নলের মধ্য দিয়া ফ্লাস্কের জল উপরের দিকে উঠিবে এবং সূক্ষ্ম ধারায় উহা বাহির হইয়া আসিবে। এই জলধারার সাহায্যে সাধারণতঃ পরীক্ষাগারে ব্যবহৃত ছোট ছোট পাত্রাদি ধৌত করা হয়।

বাতাসের চাপ বর্তমান না থাকিলে এই যন্ত্রটি কার্যকর হইত না।

13·2. পিচকারী (Syringe) : পিচকারীতে সাধারণতঃ একটি খোলা

চোঙ থাকে। এই চোঙের একপ্রান্ত সূচালো মুখবিশিষ্ট এবং অপরপ্রান্ত দিয়া একটি বায়ু-নিরুদ্ধ পিস্টন (piston) প্রবেশ করানো থাকে। এই পিস্টনটিকে চোঙের গা বাহিয়া উঠানামা করানো যায়।

13B চিত্রে এইরূপ একটি কাচের চোঙের পিচকারী দেখানো হইল।



চিত্র 13B

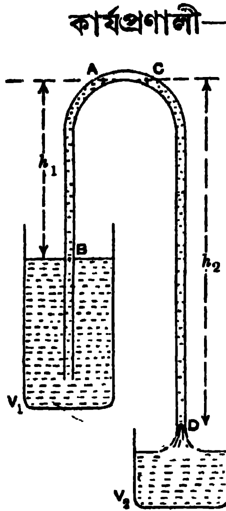
কার্যপদ্ধতি—পিচকারী ব্যবহার করিবার সময় সাধারণতঃ ইহার অভ্যন্তরস্থ পিস্টনটিকে ঠেলিয়া যতদূর সম্ভব চোঙের সরু প্রান্তের দিকে লইয়া যাওয়া হয়। পিচকারীর মধ্যে যে তরল প্রবেশ করাইতে হইবে চোঙটির সূচালো প্রান্ত সেই তরলের মধ্যে নিমজ্জিত করিয়া পিস্টনটিকে উপরের দিকে টানা হয়। ইহার ফলে চোঙের অভ্যন্তরের বায়ু প্রসারিত হয় এবং উহার চাপ অনেক কমিয়া যায়। কিন্তু বাহিরের বায়ুর চাপ তরলের উপর একই থাকিয়া যায়। এই চাপ-বৈষম্যের ফলে তরল পিচকারীর চোঙের মধ্যে প্রবেশ করে। পিচকারীকে যখন পাত্রের তরল হইতে সরাইয়া লওয়া হয় তখন পিচকারীর অভ্যন্তরস্থ তরল বাহিরের বাতাসের ঊর্ধ্বচাপে চোঙের মধ্যেই থাকিয়া যায়। কিন্তু যখন পিস্টনটিকে সরু প্রান্তের দিকে ঠেলিয়া দেওয়া যায় তখন পিচকারীর অভ্যন্তরস্থ তরলের উপর বেশী চাপ পড়ায় ঐ তরল সূচালো মুখ দিয়া জোরে বাহির হইয়া আসে।

কাজেই দেখিতে পাই যে, বাতাসের চাপ থাকার জন্য পিচকারী কার্যকর হয়। কিন্তু বায়ুশূন্য স্থানে পিচকারী কোনরূপ কার্যকর হয় না।

13·3. সাইফন (Siphon): কোন তরলপূর্ণ পাত্রে যদি তলানি (sediment) থাকে তাহা হইলে ঐ তলানি কোনরূপ নাড়াচাড়া না দিয়া উহার উপরিস্থিত পরিষ্কার তরলকে অন্য পাত্রে স্থানান্তরিত করিবার জন্য সাইফন যন্ত্রটি বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়।

13C চিত্রে একটি দুইমুখ-খোলা কাচের নলের সাইফন দেখানো হইল। এই নলের বাহু দুইটির দৈর্ঘ্য অসমান। সাইফন ব্যবহার করিবার পূর্বে যে তরল স্থানান্তরিত করা হইবে উহা দ্বারা নলটি পূর্ণ কর। অতঃপর বড বাহুর খোলা মুখ আঙুল দিয়া বন্ধ করিয়া ছোট বাহুর খোলা মুখ পাত্রস্থ তরলে নিমজ্জিত কর। এখন CD বাহুর খোলা মুখ হইতে আঙুল সরাইয়া লও। দেখিতে পাইবে ঐ খোলা মুখ দিয়া চিত্রের V_1 পাত্রের তরল ক্রমাগত নির্গত হইয়া V_2 পাত্রে সংগৃহীত হইতেছে।

কার্যপ্রণালী—চিত্র অনুযায়ী সাইফনের ছোট বাহুর অভ্যন্তরের B বিন্দু V_1 পাত্রস্থ তরলের মুক্ত তলের সমসূত্রে এবং A বিন্দু ঐ বাহুর শীর্ষে অবস্থিত। আবার দীর্ঘ বাহুর অভ্যন্তরের C শীর্ষবিন্দু A বিন্দুর সহিত একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থিত এবং ইহার D প্রান্ত বাতাসে উন্মুক্ত। এখন মনে কর, AB তরলস্তম্ভের এবং CD তরলস্তম্ভের খাড়াভাবে উচ্চতা যথাক্রমে h_1 এবং h_2, এবং বাহিরের বাতাসের চাপ P।



চিত্র 13C

সুতরাং A বিন্দুতে মোট চাপ $P_A = P - h_1\rho g$,

এবং C বিন্দুতে মোট চাপ $P_C = P - h_2\rho g$,

(এক্ষেত্রে ρ তরলের ঘনত্ব এবং g অভিকর্ষজাত ত্বরণ)

যেহেতু $h_2 > h_1$; সুতরাং $P_A > P_C$.

কাজেই এই চাপ-বৈষম্যের ফলে নলের অভ্যন্তরস্থ তরল প্রতিনিয়ত AC অভিমুখে চালিত হইবে এবং V_1 পাত্রের তরল D মুখ দিয়া নির্গত হইয়া V_2 পাত্রে সংগৃহীত হইবে।

এক্ষেত্রে সাইফনটি কার্যকর হওয়া সম্ভবপর হইয়াছে বাতাসের চাপ থাকার ফলে। যদি বাতাসের চাপ না থাকিত তাহা হইলে মাধ্যাকর্ষণের ফলে সাইফনের AB অংশের তরল V_1 পাত্রে এবং CD অংশের তরল V_2 পাত্রে চলিয়া যাইত এবং সাইফনটিতে তরল প্রবাহ সম্ভব হইত না।

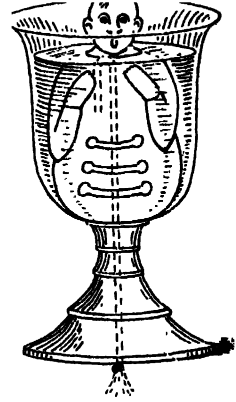
সাইফন কার্যকর হইবার শর্ত—(1) সাইফনের ছোট বাহুর তরলস্তম্ভের উচ্চতা h_1, বড় বাহুর তরলস্তম্ভের উচ্চতা h_2 অপেক্ষা সবসময় কম হওয়া প্রয়োজন। অন্যথায় সাইফনের মধ্যে তরল বিপরীতমুখে চালিত হইয়া V_1 পাত্রে চলিয়া আসিবে।

(2) ছোট বাহুর তরলস্তম্ভের উচ্চতা h_1 প্রতিনিয়ত বাতাসের চাপ যে উচ্চতার তরলস্তম্ভ ধারণ করিতে পারে তাহা অপেক্ষা কম হওয়া প্রয়োজন। অন্যথায় তরলপ্রবাহ বন্ধ হইয়া যাইবে।

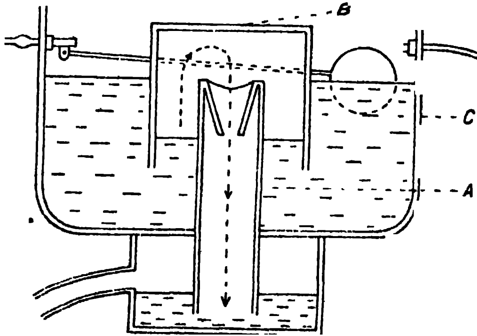
(3) আংশিক বায়ুশূন্য স্থানে সাইফনটি কার্যকর করিতে হইলে AB এবং CD নলের তরলস্তম্ভের উচ্চতা সম্ভবমত কমাইয়া লইতে হয়। কারণ বাতাসের চাপ কম হইলে উহা কম উচ্চতার তরলস্তম্ভ ধারণ করিতে পারে।

13·4. ট্যাণ্টালাসের তৃষ্ণার্ত বাটি (Tantalus Thirsty Cup) :

এই মজার খেলনাটি বস্তুতঃ সাইফন-ক্রিয়ার একটি ব্যবহারিক প্রয়োগ। 13D চিত্রে দেখা যায় যে, একটি বাটির মধ্যে একটি পুতুল বসানো এবং উহার মুখটা সবসময়ই হাঁ-করা। এই পুতুলটির পেটের মধ্যে একটি সাইফন বসানো আছে। কিন্তু বাহির হইতে এই সাইফনটিকে দেখা যায় না। চিত্রে 'dot' চিহ্ন দ্বারা এই সাইফনটি নির্দেশিত হইল। পুতুলটির মধ্যে এই সাইফনটি এমনভাবে স্থাপিত যে, বাটিতে জল ঢালিলে পুতুলটির মুখ পর্যন্ত জল পৌঁছাইতে না পৌঁছাইতে সাইফন-ক্রিয়ার ফলে পাত্র হইতে জল বাহির হইয়া আসে। কাজেই চিত্রে প্রদর্শিত পুতুলটি সমসময়ই হাঁ করিয়াই থাকে। এইজন্য আমরা বলিয়া থাকি ট্যাণ্টালসের বাটিতে বসানো পুতুলটি সর্বদাই যেন তৃষ্ণার্ত (thirsty)।


চিত্র 13D

13·5. স্বয়ংক্রিয় জলপ্রবাহ ব্যবস্থাযুক্ত পাত্র (Automatic flushing cistern) : এই যন্ত্র সাধারণতঃ শহরের ড্রেন-পায়খানাতে এবং প্রস্রাবাগারে সুবিধামত স্থানে দেওয়ালে বসানো থাকে। এই যন্ত্রের জল-প্রবাহক নল (Flush-tube) দিয়া খুব জোরে জল নির্গমন করাইয়া পাইখানাপাত্র, প্রস্রাবপাত্র ইত্যাদি ধৌত করানো হয়।



চিত্র 13E

13E চিত্রে এই যন্ত্রের একটি মোটামুটি নক্‌শা দেখানো হইল। চিত্রানুযায়ী আমরা দেখিতে পাই—

(1) *C* একটি জলাধার (cistern or tank)। এই জলাধারটি বাহিরের জলসরবরাহ-নলের (water-supply pipe) সহিত সংযুক্ত। নলটির মুখে একটি valve থাকে এবং উহা ফাঁপা বলসংযুক্ত লিভারদণ্ড দ্বারা আপনা-আপনি খুলিতে এবং বন্ধ হইতে পারে। এই লিভার-দণ্ডের নিয়ন্ত্রণের ফলে জলাধারটিকে একটি নির্দিষ্ট লেভেল পর্যন্ত জলপূর্ণ করিতে পারা যায়।

(2) *B* একটি একমুখ-বন্ধ চোঙ। এই চোঙটির সাহায্যে *C* জলাধারটি মোটা

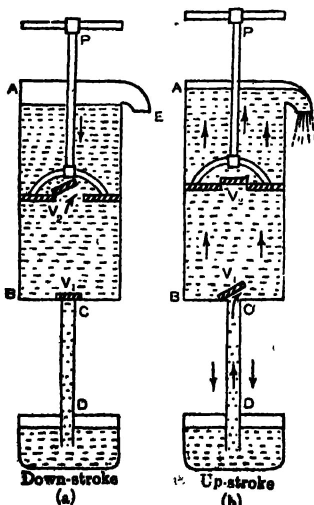
মুটিভাবে দুইটি প্রকোষ্ঠে বিভক্ত হইয়াছে। চোঙটির উপরের দিকের বদ্ধমুখে একটি শিকল (chain) থাকে (চিত্রে দেখানো হয় নাই)।

সাধারণ অবস্থায় এই চোঙটি এমনভাবে অবস্থিত যে, উহার অভ্যন্তরস্থ জলের তল বাহিরের জলাধারের তল অপেক্ষা নীচে থাকে এবং চোঙটির উপরের অংশ বায়ুপূর্ণ থাকে (চিত্রে দেখ)।

(3) A একটি জল-প্রবাহক নল (flush-tube)। এই নলটি C পাত্রের ভিতরের প্রকোষ্ঠে খাড়াভাবে এমনভাবে বসানো যাহাতে উহার উপরের মুখ B চোঙের মধ্যে উন্মুক্ত এবং বাহিরের মুখ ধৌত করিবার পাত্রের সহিত সংযুক্ত থাকে। জল-প্রবাহক নলটির উপরের মুখে ছিদ্রবিশিষ্ট একটি cone লাগানো থাকে। ঐ cone-এর সাহায্যে নলটির মাঝ বরাবর পাত্রস্থ জল জোরে বাহির হইয়া আসিতে পারে।

কার্যপ্রণালী—সাধারণতঃ ফ্লাশ-নলের সাহায্যে পাত্রাদি ধৌত করিবার সময় B চোঙের সংলগ্ন শিকলটিকে সাময়িকভাবে টান দেওয়া হয়। ইহার ফলে B চোঙটি উপরের দিকে উঠিয়া যায় এবং উহার অভ্যন্তরস্থ বায়ু প্রসারিত হওয়ায় চাপ কমিয়া যায়। এমতাবস্থায় বাহিরের বায়ুর চাপাধিক্যে B চোঙের মধ্যে জলের তল উপরের দিকে উঠিতে থাকে এবং উহা ফ্লাশ-নলের মুখ পর্যন্ত পৌছালেই সাইফন-ক্রিয়ার ফলে ফ্লাশ-নল হইতে প্রবল বেগে জল বাহির হইয়া আসে এবং পাত্রাদি ধৌত করিয়া দেয়। (সাইফন-ক্রিয়াজনিত এই জলপ্রবাহ চিত্রে 'dot' চিহ্ন দ্বারা দেখানো হইল।)

13·6. জল-তোলার সাধারণ পাম্প (Suction or Common Pump): এই যন্ত্রটির সাহায্যে টিউব-ওয়েল, পাতকুয়া ইত্যাদি হইতে জল তোলা হয়। 13F চিত্রে নিম্নবর্ণিত কার্যকর অংশসহ এই যন্ত্রের একটি সহজ নক্শা দেখানো হইল।



চিত্র 13F

কার্যকর অংশ—(1) AB একটি লোহার চোঙ (Barrel)।

(2) CD খাড়াভাবে অবস্থিত একটি লোহার নল (pipe)। ইহার উপরের খোলা মুখ ব্যারেলের তলার ছিদ্রের সহিত সংযুক্ত এবং নীচের খোলা মুখ পাতকুয়া ইত্যাদি যাহা হইতে জল তুলিতে হয় তাহাতে নিমজ্জিত।

(3) P একটি জলরোধক (water-tight) পিস্টন। উহাকে হাতলের সাহায্যে ব্যারেলের মধ্যে উঠানামা করানো যায়।

(4) V_1 এবং V_2 দুইটি ভাল্ভ (valve);

উহারা উপরের দিকে খুলিতে পারে। V_1 ভাল্‌ভটি ব্যারেলের তলায় CD নলের মুখে সংস্থাপিত এবং V_2 ভাল্‌ভ পিস্টন-চাকৃতির ছিদ্রের মুখে অবস্থিত।

(5) E জল-নির্গমনের মুখ (spout)।

কার্যপদ্ধতি—মনে কর, পাম্পটিকে চালাইবার পূর্বে পিস্টনটি ব্যারেলের তলার কাছাকাছি অবস্থান করিতেছে এবং ভাল্‌ভ দুইটি বন্ধ আছে। এখন পিস্টনটিকে হাতলের সাহায্যে উপরের দিকে উঠাইতে থাকিলে (up-stroke) উহার তলার ব্যারেলের অভ্যন্তরস্থ বায়ু প্রসারিত হওয়ায় উহার চাপ বাহিরের বায়ুর চাপ এবং CD নলের অভ্যন্তরের বায়ুর চাপ অপেক্ষা কম হইয়া যায়। ফলে V_1 ভাল্‌ভটি খুলিয়া যায় কিন্তু V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকে এবং CD নল হইতে বায়ু ব্যারেলের মধ্যে প্রবেশ করিতে থাকে। কাজেই CD নলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপও বাহিরের বায়ুর চাপ অপেক্ষা কমিয়া যায়। এই চাপ-বৈষম্যের ফলে পাতকুয়া ইত্যাদির জল CD নলের মধ্যে উঠিতে থাকে এবং শেষপর্যন্ত পিস্টনটির ঊর্ধ্বগতি-সমাপ্তিতে CD নলের বায়ুসহ কিছু পরিমাণ জলও ব্যারেলের মধ্যে প্রবেশ করে। এখন পিস্টনটিকে হাতলের সাহায্যে নীচের দিকে ঠেলিয়া দিলে (down-stroke) ব্যারেলের অভ্যন্তরস্থ বায়ু সঙ্কুচিত হওয়ায় উহার চাপ বৃদ্ধি পায় এবং সঙ্গে সঙ্গে ব্যারেলের জলের উপরও চাপ বৃদ্ধি পায়। ব্যারেলের অভ্যন্তরে এই চাপবৃদ্ধির জন্য V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায় কিন্তু V_2 ভাল্‌ভ উপরের দিকে খুলিয়া যায় এবং পিস্টন-চাকৃতির ছিদ্র দিয়া প্রথমে ব্যারেলের বায়ু এবং পরিশেষে ব্যারেলের জলও বাহির হইয়া আসে এবং ঐ জল পিস্টনের উপরিভাগে সঞ্চিত হয়। এইপ্রকারে পিস্টনটিকে ব্যারেলের মধ্যে কয়েকবার উঠানামা করিলে উহার উপরিভাগে সঞ্চিত জল যখন E মুখ পর্যন্ত আসিয়া পৌছায় তখন পিস্টনের প্রতি ঊর্ধ্বগতিতে E মুখ দিয়া জল বাহির হইয়া আসে।

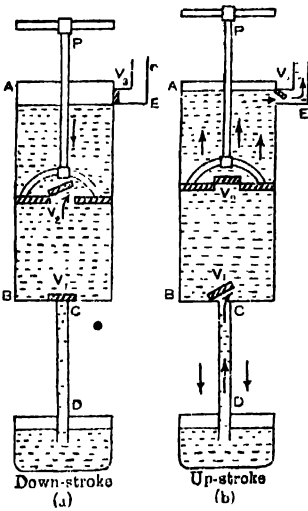
মনে রাখিতে হইবে ব্যারেলটি যদি অপেক্ষাকৃত কম প্রস্থচ্ছেদের হয় অথবা CD নলটি যদি অপেক্ষাকৃত অধিক প্রস্থচ্ছেদের হয়, তাহা হইলে প্রথম কয়েকবার পিস্টনটির উঠানামাতে উহার মধ্যে কেবল CD নলের বায়ুই শোষিত হইয়া আসে। পাম্পটি চলিতে থাকিলে পরিশেষে CD নলের মধ্য দিয়া ব্যারেলে জল প্রবেশ করে।

উপরে বর্ণিত কার্যপ্রণালী হইতে ইহাই প্রতিপন্ন হয় যে, এই জল-তোলা যন্ত্রটি বাতাসের চাপ থাকার জন্যই কার্যকর হইয়াছে।

জল-তোলা পাম্পের কার্যকরী সীমা (Limit of working of the suction-pump)—আমরা জানি বাতাসের স্বাভাবিক চাপ আনুমানিক 34 ফিট জল-স্তম্ভের চাপের সমান। সুতরাং বাহিরের বাতাসের চাপ নলের শূন্য অবস্থায় 34 ফিট পর্যন্ত নলের মধ্যে জল ঠেলিয়া উঠাইতে পারে। কাজেই নলের উচ্চতা পাতকুয়া ইত্যাদির

জলের তল হইতে 34 ফিটের অধিক হইলে বাতাসের চাপ বর্তমান থাকা সত্ত্বেও পাম্পটি কার্যকর হয় না। অবশ্য ব্যবহারিক ক্ষেত্রে এই নলের মধ্যে জল-স্তম্ভের উচ্চতা 30 ফিটের অধিক হইলেই জল-তোলা পাম্পটি বিভিন্ন কারণে কার্যকর হইতে দেখা যায় না। এই কারণে গ্রীষ্মপ্রধান স্থানে পাতকুয়া ইত্যাদির জলের তল যখন খুব নীচে নামিয়া যায় তখন এইপ্রকার পাম্পের সাহায্যে জল-তোলা একরূপ অসম্ভব হইয়া পড়ে।

13·7. ঊর্ধ্বে জল উঠাইবার পাম্প (Lift-pump)ঃ এই যন্ত্রটিও বাতাসের চাপ বর্তমান থাকায় কার্যকর হয়। এই যন্ত্রের সাহায্যে আমরা কুয়া, টিউব-ওয়েল ইত্যাদি হইতে জল তুলিয়া লম্বা নির্গমন নলের (delivery pipe) সাহায্যে ঐ জল ঊর্ধ্বে উঠাইতে পারি। এই কারণে এই যন্ত্রটি দোতলা বা তিনতলা বাড়ীর ছাদে অবস্থিত ট্যাঙ্কের মধ্যে জল তুলিবার জন্য বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়।



চিত্র 13G

বিবরণ—13G চিত্র অনুযায়ী আমরা দেখিতে পাই এই যন্ত্রটির গঠনপদ্ধতি প্রায় জল-তোলা সাধারণ পাম্পের গঠনপদ্ধতির অনুরূপ। কেবলমাত্র পার্থক্য এই যে, জল-তোলা পাম্পের যেখানে জল-নির্গমনের মুখ (spout) থাকে সেই স্থানে একটি লম্বা নির্গমন নল দৃঢ়ভাবে ব্যারেলের গায়ে সংযুক্ত থাকে। এই নলটির নীচের খোলা মুখ যেস্থানে ব্যারেলের গায়ে উন্মুক্ত সেস্থানে আর-একটি ভাল্‌ভ V_3 বসানো হয় এবং উহা নলটির ভিতর-দিকে খুলিতে পারে। এই নলের অপর মুখ সাধারণতঃ ঊর্ধ্বে অবস্থিত চৌবাচ্চার মধ্যে উন্মুক্ত।

কার্যপ্রণালী—সাধারণ জল-তোলা পাম্পের ন্যায় এই পাম্পেরও পিস্টনটিকে প্রথমে কয়েকবার উঠানামা করাইয়া পাতকুয়া ইত্যাদি হইতে জল পিস্টনের উপরিভাগে মজুত করিতে হয়। যখন ঐ সঞ্চিত জল V_3 ভাল্‌ভ পর্যন্ত আসিয়া পৌঁছায় তখন পিস্টনটির প্রতি ঊর্ধ্বগতিতে (upward stroke) V_2 ভাল্‌ভটি বন্ধ থাকে এবং V_1 ভাল্‌ভটি খুলিয়া যাইয়া পাতকুয়া ইত্যাদির জল চোঙের মধ্যে প্রবেশ করে। পিস্টনের এই ঊর্ধ্বগতির সঙ্গে পিস্টনের উপরিভাগে সঞ্চিত জলের উপর অত্যধিক চাপ পড়ায় V_3 ভাল্‌ভটি খুলিয়া যায় এবং এই সঞ্চিত জল নির্গমন নলের মধ্যে প্রবেশ করিতে থাকে। পিস্টনটির নিম্নগতিতে V_1 ভাল্‌টি বন্ধ হয় এবং V_2 ভাল্‌ভটি খুলিয়া যায়। ফলে চোঙের জল পিস্টনের উপরিভাগে চলিয়া আসে এবং নির্গমন নলে অবস্থিত জলের

চাপে V_3 ভাল্‌ভটি এইসময় বন্ধ থাকে। কাজেই আমরা দেখিতে পাই পিস্টনের প্রতি নিম্নগতিতে নির্গমন নলের মুখে জল সঞ্চিত হয় এবং প্রতি উর্ধ্বগতিতে ঐ জল নির্গমন নলে প্রবেশ করে। শেষপর্যন্ত নির্গমন নল জলপূর্ণ হইলে, পিস্টনের প্রতি উর্ধ্বগতিতে ঐ জল নির্গমন নলের উপরের দিকের খোলা মুখ দিয়া জোরে বাহির হইয়া আসে এবং উহা উর্ধ্বে অবস্থিত চৌবাচ্চায় সঞ্চিত হয়।

এক্ষেত্রে লক্ষ্য করিবার বিষয় এই যে, নির্গমন নলের খোলা মুখ দিয়া জল সবিরাম গতিতে বাহির হইয়া আসে এবং উক্ত নির্গমন নলের সাহায্যে জল উর্ধ্বে উঠাইতে বাতাসের চাপ কোন ক্রিয়া করে না। কিন্তু পাতকুয়া ইত্যাদি হইতে ব্যারেলের মধ্যে জল-তোলা কার্য বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর সম্পূর্ণ নির্ভর করে।

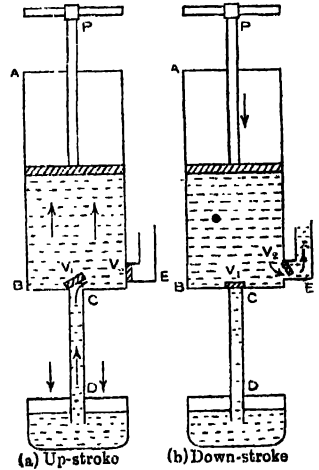
13·8. জল-উৎক্ষেপী পাম্প (Force-pump): এই পাম্পের সাহায্যে বহুদূরে জল উৎক্ষেপণ করা সম্ভব।

বিবরণ—13H চিত্র অনুযায়ী আমরা দেখিতে পাই যে, জল-তোলা সাধারণ পাম্প হইতে এই পাম্পের উল্লেখযোগ্য পার্থক্য এইরূপ—

(1) এই শ্রেণীর পাম্পে জল-নির্গমন মুখ চোঙের তলার কাছাকাছি থাকে এবং ঐ স্থানেই জল-নির্গমন নল সংযুক্ত থাকে।

(2) পিস্টনটি নিরেট এবং উহার সহিত কোন ভাল্‌ভ সংযুক্ত থাকে না।

(3) জল-নির্গমন নলের মুখে একটি valve (V_2) সংলগ্ন থাকে। উহা কেবলমাত্র নির্গমন নলের ভিতরের দিকে খুলিতে পারে। কিন্তু অপর ভাল্‌ভ (V_1) সাধারণ পাম্পের ন্যায় চোঙের ভিতর-দিকেই খোলে।



চিত্র 13H

কার্যপ্রণালী—জল-তোলা সাধারণ পাম্পের ন্যায় পিস্টনটিকে কয়েকবার উঠা-নামা করিলে চোঙের মধ্যে জল উঠিয়া আসে (চিত্রে দ্রষ্টব্য)। অতঃপর পিস্টনটিকে হাতলের সাহায্যে নিম্নের দিকে ঠেলিয়া দিলে চোঙের অভ্যন্তরস্থ জলের উপর অত্যধিক চাপ পড়ে। ফলে V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যায় এবং V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া যায়। সুতরাং চোঙের অভ্যন্তরস্থ জল নির্গমন নল দিয়া জোরে উৎক্ষিপ্ত হয়।

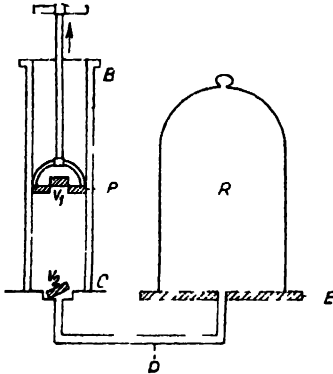
কাজেই আমরা দেখিতে পাই জল-উৎক্ষেপণ কার্য পিস্টনের প্রতি নিম্নগতির সময় সম্ভব হয় এবং জলের এই উৎক্ষেপণ-কার্য সবিরাম গতিতে (Intermittent) চলিতে

থাকে এবং ইহা বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর নির্ভর করে না। কিন্তু ব্যারেলের মধ্যে জল-তোলা কার্য বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর সম্পূর্ণ নির্ভর করে।

প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য, জলের এই উৎক্ষেপণ-কার্য অবিরাম গতিতে সম্পন্ন কবিবাব জন্য নির্গমন নলের সঙ্গে বাতাসেব একটি প্রকোষ্ঠ (Air-chamber) সংলগ্ন থাকে। পিস্টনেব ঊর্ধ্বগতির সময নির্গমন নলের মুখে অবস্থিত V_2 ভাল্‌ভটি বন্ধ হইয়া যায় কিন্তু প্রকোষ্ঠেব বাতাসের চাপে উহাব অভ্যন্তরস্থ জল নির্গমন নল দিয়া উৎক্ষিপ্ত হয। সুতবাং এক্ষেত্রে পাম্পটি চলিতে থাকিলে অবিবাম গতিতে নির্গমন নল দিযা জল উৎক্ষিপ্ত হয। আগুন নিভাইবাব দমকল (Fire-engine) এই পদ্ধতিতে তৈযারী।

13·9. বায়ু-নিষ্কাশন পাম্প (Air-pump or Exhaust-pump): আনুমানিক 1650 খ্রীষ্টাব্দে অটো ফন্ গেবিক (Otto Von Guericke) এই যন্ত্র প্রথম আবিষ্কার কবেন।

বায়ুপূর্ণ কোন আবদ্ধ পাত্র হইতে বায়ু নিষ্কাশিত করিযা ঐ পাত্রকে বায়ুশূন্য করিবাব জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয।



চিত্র 131

131 চিত্র হইতে আমরা দেখিতে পাই এই যন্ত্রটি নিম্নলিখিত কাযকব অংশগুলি দ্বাবা সংগঠিত।

(1) BC একটি শক্ত ধাতব চোঙ (Barrel)। এই চোঙেব তলদেশে V_2 ভাল্‌ভ সংলগ্ন। এই ভাল্‌ভ চোঙের মধ্যে খুলিতে পারে।

(2) P একটি পিস্টন। এই পিস্টনটিকে হাতলের সাহায্যে বায়ুরোধী অবস্থায চোঙেব গা বাহিয়া উঠানামা করানো যায।

(3) V_1 অপব একটি ভাল্‌ভ। উহা পিস্টন-চাক্‌তিব সহিত সংযুক্ত। এই ভাল্‌ভটি চোঙেব বাহিরেব দিকে খুলিতে পাবে।

(4) E একটি গোলাকার ধাতব চাক্‌তি। ইহাকে পাম্পের বেকাবী (disc) বলে।

(5) D সূক্ষ্মছিদ্রবিশিষ্ট একটি ধাতব নল। এই নলটির সাহায্যে রেকাবীর উপর স্থাপিত বায়ুপূর্ণ R পাত্রের সহিত পাম্পের সংযোগ রক্ষা করা হয়।

(6) R পাত্রটিকে আধার (Receiver) বলে। (চিত্রে এই পাত্রটি বেলজার আকারের দেখানো হইয়াছে।) এই পাত্র হইতে পাম্পের সাহায্যে বায়ু নিষ্কাশন

করিবার সময় উহাকে রেকাবীর উপর বসাইয়া ভেসেলীন (Vaseline) অথবা চর্বির (Lard) সাহায্যে সংযোগস্থল বায়ুরোধী করা হয়।

কার্যপ্রণালী—মনে কর, প্রাথমিক অবস্থায় পিস্টনটি ব্যারেলের মধ্যে সর্বনিম্ন অবস্থানে আছে এবং তখন দুইটি ভাল্‌ভই বন্ধ। এখন হাতলের সাহায্যে পিস্টনটিকে উপরের দিকে তুলিলে পিস্টনের তলার ব্যারেলের অভ্যন্তরস্থ স্থান আংশিক বায়ুশূন্য হইতে থাকে। সুতরাং ঐ স্থানের বায়ুর চাপ বাহিরের বায়ুমণ্ডলের এবং R পাত্রের বায়ুব চাপ অপেক্ষা কম হইযা যায়। বায়ুর এই চাপ-বৈষম্যে V_1 ভাল্‌ভটি বন্ধই থাকে, কিন্তু V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া যায এবং R পাত্রের বায়ু পাম্পের চোঙেব মধ্যে প্রবেশ করিতে থাকে। এই প্রবেশকায চলিতে থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত না পিস্টনটির ঊর্ধ্বগতি সমাপ্ত হয়।

অতঃপর হাতলের সাহায্যে পিস্টনটিকে নিম্নদিকে ঠেলিয়া দিলে ব্যারেলের অভ্যন্তবস্থ বায়ু সঙ্কুচিত হওযায উহার চাপ বৃদ্ধি পায় এবং V_2 ভাল্‌ভটি বন্ধ হইযা যায়। কিন্তু V_1 ভাল্‌ভ খুলিযা যায। কাজেই পিস্টনটির নিম্নগতির সঙ্গে ব্যারেলের অভ্যন্তরস্থ বায়ু বাহিরে চলিযা আসিতে থাকে।

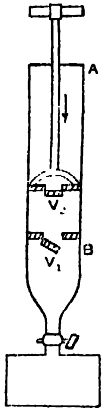
সুতরাং আমবা দেখিতে পাই যে, পিস্টনটির একবার সম্পূর্ণ গতিতে (complete stroke—অর্থাৎ, ঊর্ধ্বগতি + নিম্নগতি) ব্যারেলের সম-আযতনের বায়ু R পাত্র হইতে বাহিব হইয়া আসে।

পাম্পেব এইপ্রকার কার্য চলিতে থাকিলে R পাত্র হইতে বায়ু ক্রমাগত নিষ্কাশিত হইতে থাকিবে এবং উহার অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ ক্রমাগত কমিয়া যাইতে থাকিবে। কিন্তু এই নিষ্কাশন-কার্য দ্বাবা R পাত্র সম্পূর্ণভাবে বায়ুশূন্য করা সম্ভব হয় না। কারণ R পাত্রের বায়ু ক্রমাগত নিষ্কাশিত হইয়া উহার চাপ শেষপর্যন্ত এরূপভাবে কমিয়া যায় যে, পাত্রস্থ বায়ু V_2 ভাল্‌ভটিকে খুলিবাব জন্য প্রয়োজনীয় বল প্রয়োগ করিতে সক্ষম হয় না। এই কারণে আমরা অনেকসময় বলিয়া থাকি সাধারণ পাম্পের সাহায্যে কোন আবদ্ধ স্থানের বায়ু সম্পূর্ণভাবে নিষ্কাশিত হয় না।

13·10. সংনমন-পাম্প (Compression or condensing pump): আমরা বায়ু-নিষ্কাশন পাম্প দ্বারা কোন আবদ্ধ পাত্র বায়ুশূন্য করিয়া থাকি। কিন্তু সংনমন-পাম্পের সাহায্যে কোন আবদ্ধ পাত্রে আমরা বায়ু কিংবা অন্যান্য গ্যাস প্রবেশ করাইয়া উহাকে উচ্চচাপে সংরক্ষিত করিতে পারি। একারণে বায়ু-নিষ্কাশক পাম্পের ভাল্‌ভ দুইটির খোলার ব্যবস্থা বিপরীত করিলেই ঐ যন্ত্রটি সংনমন-পাম্প হিসাবে গণ্য হইতে পারে।

13J চিত্রে একটি সংনমন-পাম্পের নক্‌শা দেখানো হইল। চিত্রানুযায়ী আমরা

দেখিতে পাই V_1 ভাল্‌ভ রিসিভারের দিকে এবং V_2 ভাল্‌ভটি চোঙের ভিতরের দিকে খুলিতে পারে।



চিত্র 13J

সাইকেল-পাম্প, ফুটবলের ইন্‌ফ্লেটর (inflator) ইত্যাদি সংনমন-পাম্পের ব্যবহারিক দৃষ্টান্ত।

কার্যপদ্ধতি—পিস্টনটিকে হাতলের সাহায্যে উপরের দিকে তুলিলে (অর্থাৎ B হইতে A-এর দিকে) পিস্টনের তলার চোঙের অভ্যন্তরস্থ স্থানের বায়ু প্রসারিত হয় এবং উহার চাপ কমিয়া যায়। ইহার ফলে বাহিরের বাতাসের চাপে V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া যায় এবং বাহিরের বাতাস চোঙের মধ্যে প্রবেশ করে।

অতঃপর পিস্টনটিকে নীচের দিকে ঠেলিয়া দিলে (অর্থাৎ A হইতে B-এর দিকে) চোঙের অভ্যন্তরস্থ বায়ু সঙ্কুচিত হয় এবং উহার চাপ বৃদ্ধি পায়। এই চাপবৃদ্ধির ফলে V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকে, কিন্তু V_1 ভাল্‌ভটি খুলিয়া যায় এবং চোঙের অভ্যন্তরস্থ বায়ু রিসিভারে প্রবেশ করে।

কাজেই আমরা দেখিতে পাই যে, পিস্টনটির প্রতি পূর্ণগতিতে (অর্থাৎ, ঊর্ধ্বগতি + নিম্নগতি) চোঙের সম-আয়তনের বাতাস বাহির হইতে রিসিভারে প্রবেশ করানো হয়। পিস্টনটি যখন এইরূপভাবে কাজ করিতে থাকে তখন রিসিভারের মধ্যে ক্রমাগত বায়ু প্রবেশ করায় রিসিভারের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ বৃদ্ধি পাইতে থাকে।

উক্ত সংনমন-পাম্পের সাহায্যে বায়ু ইত্যাদি গ্যাস উচ্চচাপে সংরক্ষিত করিয়া প্রয়োজনমত কাজে লাগানো হয়; যেমন—ওয়েলডিং (welding) ইত্যাদি কার্যের জন্য উপরোক্ত পদ্ধতিতে শক্ত লোহার চোঙে অক্সিজেন (oxygen) ইত্যাদি গ্যাস সংরক্ষণ করা হয়।

(1) নিষ্কাশন-পাম্পের সাহায্যে বায়ু-নিষ্কাশনের পরিমাণ নির্ণয় (Calculation of the amount of exhaustion by Air-pump)—পূর্ববর্ণিত বায়ু-নিষ্কাশন যন্ত্রের কার্যপ্রণালী হইতে আমরা দেখিয়াছি যে, নিষ্কাশন যন্ত্রের পিস্টনের প্রতি পূর্ণগতি অন্তে কোন আধারের (receiver) বায়ু নিষ্কাশিত হইতে থাকে এবং উহার চাপও ক্রমাগত হ্রাস পাইতে থাকে। সুতরাং পিস্টনের কোন নির্দিষ্ট-সংখ্যক পূর্ণগতি অন্তে পাত্রস্থ বায়ুর চাপ কিংবা ঘনত্ব কমিয়া যে পর্যায়ে আসিয়া পৌঁছায় তাহার বিবেচনায় সাধারণতঃ বায়ু-নিষ্কাশনের পরিমাণ নির্ণয় করা হয়।

গণনা—মনে কর, আধারের (receiver) আয়তন V এবং পাম্পের চোঙের আয়তন v।

কাজেই প্রাথমিক অবস্থায় যখন ঐ আধার বায়ুপূর্ণ থাকে তখন উহার অভ্যন্তরের বায়ুর আয়তনও ধরা হয় V।

মনে কর, আধারের বায়ুর এই চাপ বাহিরের বায়ুর চাপের (P) সমান।

এখন পিস্টনটির প্রথম উর্ধ্বগতির সমাপ্তিতে আধারের বায়ু পাম্পের চোঙে প্রবেশ করায় উহার আয়তন বৃদ্ধি পাইয়া দাঁড়াইল $(V+v)$। এমতাবস্থায় আধারের বায়ুর চাপও কমিয়া যাইয়া, মনে কর, উহা P_1-এ দাঁড়াইল।

স্থতরাং বয়েলের স্থত্র হিসাবে, $P_1\,(V+v)=PV$, অথবা, $P_1=\dfrac{PV}{(V+v)}$।

অতঃপর পিস্টনটির প্রথম নিম্নগতির সমাপ্তিতে পিস্টন-চোঙের সম-আয়তনের বায়ু R পাত্র হইতে নিষ্কাশিত হইয়া বাহিরে চলিয়া আসে। কাজেই পিস্টনটির প্রথম পূর্ণ-গতির সমাপ্তিতে আধারের বায়ুর আয়তন যদিও "V" থাকে কিন্তু উহার চাপ কমিয়া দাঁড়ায় P_1।

এখন পিস্টনটির দ্বিতীয় উর্ধ্বগতির সমাপ্তিতে আধারের বায়ুর আয়তন পুনরায় বৃদ্ধি পাইয়া দাঁড়াইল $(V+v)$ এবং মনে কর, তখন বায়ুর চাপ কমিয়া P_2 হইল।

স্থতরাং বয়েলের স্থত্র হিসাবে, $P_2(V+v)=P_1V$

অথবা, $P_2=P_1\dfrac{V}{V+v}=P\dfrac{V}{V+v}\times\dfrac{V}{V+v}=P\left(\dfrac{V}{V+v}\right)^2$।

এখন পিস্টনটির দ্বিতীয় নিম্নগতির সমাপ্তিতে পাম্পের চোঙের অভ্যন্তরস্থ বায়ু নিষ্কাশিত হইয়া বাহিরে চলিয়া আসে। স্থতরাং, দ্বিতীয় পূর্ণগতির সমাপ্তিতে আধারের বায়ুর চাপ হ্রাস পাইয়া দাঁড়ায় P_2।

অনুরূপভাবে পিস্টনটির n-সংখ্যক পূর্ণগতির সমাপ্তিতে আধারের বায়ুর চাপ হ্রাস পাইয়া দাঁড়ায় $P_n=P\left(\dfrac{V}{V+v}\right)^n$।

যেহেতু বায়ুর চাপ এবং উহার ঘনত্ব সমানুপাতিক, স্থতরাং $D_n=D\left(\dfrac{V}{V+v}\right)^n$।

এক্ষেত্রে D নির্দেশ করে আধারের বায়ুর প্রাথমিক ঘনত্ব এবং D_n নির্দেশ করে পিস্টনের n-সংখ্যক পূর্ণগতি অন্তে ঐ বায়ুর ঘনত্ব।

(2) সংনমন-পাম্পের সাহায্যে বায়ু-সংনমনের পরিমাণ নির্ণয় (Calculation of the amount of compression by condensing pump)—পূর্ববর্ণিত সংনমন-পাম্পের কার্যপ্রণালী হইতে আমরা দেখিতে পাই যে পিস্টনের প্রতি পূর্ণগতি অন্তে সংনমন-পাম্পের চোঙের সম-আয়তনের বাতাস রিসিভারে প্রবেশ করে এবং ফলে রিসিভারের অভ্যন্তরের বায়ুর চাপ এবং ঘনত্ব ক্রমাগত বৃদ্ধি পাইতে থাকে।

সুতরাং পিস্টনের কোন নির্দিষ্ট-সংখ্যক পূর্ণগতি অন্তে রিসিভারের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর চাপ কিংবা ঘনত্ব বৃদ্ধি পাইয়া যে পর্যায়ে আসিয়া পৌছায় তাহার বিবেচনায় আমরা বায়ু-সংনমনের পরিমাণ নির্ণয় করিয়া থাকি।

গণনা— মনে কর, রিসিভারের আয়তন V,
পাম্পের চোঙের আয়তন v,
এবং বাহিরের বাতাসের ঘনত্ব D।

সুতরাং প্রাথমিক অবস্থায় রিসিভারের বায়ুর আয়তন V, পাম্পের চোঙের বায়ুর আয়তন v এবং বায়ুর ঘনত্বও D ধরিয়া লওয়া হইল। এ হিসাবে প্রাথমিক অবস্থায় রিসিভারের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর ভর $M = V \times D$।

এখন, পিস্টনের প্রথম পূর্ণগতির সমাপ্তিতে রিসিভারের মধ্যে যে বায়ু প্রবেশ করানো হয় তাহার ভর $m = v \times D$।

সুতরাং পিস্টনের প্রথম পূর্ণগতির সমাপ্তিতে রিসিভারের অভ্যন্তরস্থ বায়ুর ভর

$$M_1 = M + m = VD + vD।$$

কাজেই বায়ুর ঘনত্ব বৃদ্ধি পাইয়া দাঁড়ায়—

$$D_1 = \frac{M_1}{V} = \frac{VD + vD}{V} = D\left(1 + \frac{v}{V}\right)।$$

অনুরূপভাবে পিস্টনের n-সংখ্যক পূর্ণগতির সমাপ্তিতে রিসিভারে বায়ুর ঘনত্ব বৃদ্ধি পাইয়া যদি দাঁড়ায় D_n, তাহা হইলে $D_n = D\left(1 + \frac{nv}{V}\right)$।

যেহেতু বায়ুর ঘনত্ব ও চাপ সমানুপাতিক, সুতরাং

$$P_n = P\left(1 + \frac{nv}{V}\right)।$$

(এক্ষেত্রে P বায়ুর প্রাথমিক চাপ এবং P_n উহার পরিশেষের চাপ নির্দেশ করে।)

[প্রাথমিক পাঠকালীন শিক্ষার্থীরা উপরোক্ত গণনা দুইটি বাদ দিয়া পড়িতে পারে।]

সারাংশ

বায়ু-চাপসাপেক্ষ বিবিধ যন্ত্র তৈয়ারী করা সম্ভব হইয়াছে। বাহিরের বাতাসের চাপ না থাকিলে এই যন্ত্রগুলি কার্যকর হইত না। বায়ুচাপ-সংক্রান্ত কয়েকটি যন্ত্র, যথা—(1) Wash bottle, (2) পিচকারী, (3) সাইফন্, (4) ট্যান্টালসের বাটি, (5) স্বয়ংক্রিয় জলপ্রবাহ-ব্যবস্থা, (6) সাধারণ জল-তোলা পাম্প, (7) উর্ধ্বে জল উঠাইবার পাম্প, (8) জল-উৎক্ষেপী পাম্প, (9) বায়ু-পাম্প, (10) সংনমন-পাম্প ইত্যাদি।

প্রশ্নমালা

1. নিম্নলিখিত যন্ত্র দুইটির বর্ণনা সহ কার্যপদ্ধতি ব্যাখ্যা কর :
(ক) Wash bottle, (খ) পিচকারী।
[Describe and explain the action of the following :
(a) A wash bottle, (b) A Syringe.]

2. একটি সাইফনের কার্যপদ্ধতি বুঝাইয়া দাও।
সাইফন কার্যকর হইবার শর্তগুলি আলোচনা কর। ট্যাণ্টালসের বাটিতে কিরূপে সাইফনের মূলনীতিটি ব্যবহৃত হয় তাহা বুঝাইয়া দাও।
[Explain the action of a Siphon.
Discuss the conditions for the Siphon to work. Explain how the principle of Siphon is used in Tantalus cup.]

3. একটি স্বয়ংক্রিয় জলপ্রবাহ-ব্যবস্থাযুক্ত পাত্রের বর্ণনা কর এবং উহার কার্যপ্রণালী বুঝাইয়া দাও। [Describe an automatic flushing cistern and explain its action.]

4. একটি সাধারণ জল-তোলা পাম্প বর্ণনা কর এবং উহার কার্যপদ্ধতি বুঝাইয়া দাও।

একটি সাধারণ জল-তোলা পাম্পের সাহায্যে 30 ফিটের বেশী উর্ধ্বে জল-তোলা সম্ভব হয় না কেন তাহার কারণ প্রদর্শন করাও।

[Describe a Suction-pump and explain its action.
Water cannot be raised to a height greater than 30 ft. by means of such a pump. State the reason for this.] [C. U. 1930]

5. সহজ চিত্রের সাহায্যে উর্ধ্বে জল উঠাইবার পাম্পের কার্যকর অংশগুলি দেখাইয়া উহার কার্যপদ্ধতি বুঝাইয়া দাও। এই শ্রেণীর পাম্পের সাহায্যে যে-কোন উচ্চতায় জল তোলা যায় কি? [Explain the action of the Lift-pump with the aid of a simple diagram showing the working parts. Is there any limit to height to which water can be raised with the aid of a Lift-pump ? Explain.]

6. চিত্রের সাহায্যে জল-উৎক্ষেপী পাম্প বর্ণনা কর এবং উহার কার্যপদ্ধতি বুঝাইয়া দাও। [Describe with a neat diagram the action of the common Force-pump.] [C. U. 1937]

7. চিত্রের সাহায্যে একটি বায়ু-নিষ্কাশন পাম্প বর্ণনা কর এবং উহার কার্যপদ্ধতি বুঝাইয়া দাও। এই যন্ত্রের সাহায্যে কোনস্থান একবারে বায়ুশূন্য করা যায় কি? কারণসহ বুঝাইয়া দাও। [Describe an Air-pump giving a diagram and explain its action. Can you get perfect vacuum with this apparatus ? If not, why not ?]

8. চিত্রসহ একটি সংনমন-পাম্প বর্ণনা কর এবং উহার কার্যপদ্ধতি বুঝাইয়া দাও। [Describe with a diagram a Condensing-pump and explain its mode of action.]

9. একটি সংনমন-পাম্প এবং একটি বায়ু-নিষ্কাশন পাম্প এই দুইয়ের মধ্যে কি কি পার্থক্য পরিলক্ষিত হয় তাহা বুঝাইয়া লিখ। [Explain what are the differences between an Exhaust-pump and a Compression-pump.]

তাপ-বিজ্ঞান (Heat)

প্রথম পরিচ্ছেদ

প্রাথমিক আলোচনা

1·1. তাপ (Heat): শিশুকাল হইতেই আমবা সকলে তাপেব সহিত কম-বেশী পাবিচিত। তাপেব সহিত আমাদেব পরিচিতি যতই ঘনিষ্ঠ হউক না কেন, তাপ কাহাকে বলে তাহা আমাদেব পক্ষে সুস্পষ্ট সংজ্ঞা দিয়া বুঝানো কঠিন। বস্তুতঃ, তাপ অনুভূতিব জিনিস। জডবস্তুকে আশ্রয় কবিয়া তাপ আত্মপ্রকাশ কবে। জডবস্তুকে আমবা আকাব, আকৃতি, গন্ধ, বর্ণ ইত্যাদিব দ্বাবা বর্ণনা কবিতে পাবি; কিন্তু তাপকে অনুরূপভাবে বর্ণনা কবা যায় না।

আমরা তাপ বলিতে ইহাই বুঝিব যে, ইহা একপ্রকার শক্তি। বস্তুতে এই শক্তির বৃদ্ধি পাইলে বস্তুর উত্তপ্ততা বৃদ্ধি পায়, আবার বস্তুতে এই শক্তির হ্রাস হইলে বস্তুটি অপেক্ষাকৃত শীতল হইয়া পড়ে।

1·2. উষ্ণতা বা তাপমাত্রা (Temperature): সাধাবণভাবে আমবা বলিয়া থাকি উষ্ণতা বা তাপমাত্রা বস্তুব তাপীয় অবস্থাব নির্দেশক। কোন বস্তুর তাপেব হ্রাসবৃদ্ধিব সহিত ঐ বস্তুব উষ্ণতাব হ্রাসবৃদ্ধি হয়। দুইটি বস্তুর মধ্যে তাপের আদান-প্রদান উহাদেব উষ্ণতাব তাবতম্যেব উপর নির্ভর করে। একটি অধিক উষ্ণ বস্তু অপর একটি অল্প উষ্ণ বস্তুব সংস্পর্শে আসিলে প্রথম বস্তুটি দ্বিতীয় বস্তুটিকে তাপ দিবে এবং দ্বিতীয় বস্তু উহা গ্রহণ করিবে। তাপের এই আদান-প্রদানের ফলে অধিক উষ্ণ বস্তুটির উষ্ণতা কমিয়া আসিবে এবং অল্প উষ্ণ বস্তুটির উষ্ণতা বাড়িতে থাকিবে। শেষ-পর্যন্ত উভয় বস্তুই সম-উষ্ণতা (same temperature) প্রাপ্ত হইবে।

সুতবাং আমরা বলিতে পারি **উষ্ণতা বা তাপমাত্রা বস্তুর এমন একটি তাপীয় অবস্থা যাহা নির্দেশ করে যে এক বস্তু অপর বস্তুকে তাপ প্রদান করিবে অথবা অপর বস্তু হইতে ঐ বস্তু তাপ গ্রহণ করিবে।**

1·3. তাপের আদান-প্রদান: তাপের আদান-প্রদানের ক্ষেত্রে যে বস্তু তাপ দান করে তাহার তাপের পরিমাণ বেশী এবং যে বস্তু তাপ গ্রহণ করে তাহার তাপ কম এরূপ বুঝিলে ভুল হইবে। মনে রাখিবে, অধিক উষ্ণ বস্তুর মধ্যে মোট তাপের পরিমাণ কম থাকিলেও এবং অল্প উষ্ণ বস্তুতে তাপ পরিমাণে অধিক থাকিলেও উষ্ণতর বস্তুটিই অপর বস্তুটিকে তাপ দিতে সক্ষম হইবে।

এসম্পর্কে উদস্থিতি-বিদ্যার জলের লেভেলের (Hydrostatic level) উদাহরণ এখানে অপ্রাসঙ্গিক হইবে না। মনে কর, কোন বাড়ীর ছাদে একটি জলপূর্ণ চৌবাচ্চা আছে এবং বাড়ীর সংলগ্ন জমিতে একটি প্রকাণ্ড পুকুর আছে। চৌবাচ্চার জলের লেভেল পুকুরের জলের লেভেল হইতে উচ্চতর। কিন্তু চৌবাচ্চার জলের পরিমাণ পুকুরের জলের পরিমাণের তুলনায় নগণ্য। এ অবস্থায় যদি চৌবাচ্চা এবং পুকুর একটি নলদ্বারা যুক্ত করা যায়, তাহা হইলে দেখা যায়, চৌবাচ্চায় জল কম থাকিলেও চৌবাচ্চার জল পুকুরে যাইবে, কিন্তু পুকুরের জল চৌবাচ্চায় উঠিবে না। সুতরাং, দেখা যাইতেছে জলের প্রবাহ উহার লেভেলের দ্বারা নির্দেশিত হয়, জলের পরিমাণ দ্বারা নহে। অনুরূপভাবে তাপের আদান-প্রদানও দুইটি পদার্থের উষ্ণতার তারতম্যের উপর নির্ভর করে; তাপের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না। কাজেই অনেকসময় আমরা বলিয়া থাকি, উদস্থিতি-বিদ্যার জলের লেভেল বা তল এবং তাপবিদ্যার উষ্ণতা (Temperature) উভয়ই সমতুল্য।

1·4. তাপের প্রকৃতি বা স্বরূপ (Nature of heat): তাপের প্রকৃতি সম্পর্কে আমরা দুইটি মতবাদের সহিত পরিচিত; যথা—(1) **ক্যালোরিক মতবাদ** (Caloric theory) এবং (2) **যান্ত্রিক মতবাদ** (Mechanical theory)।

ক্যালোরিক মতবাদ—এই মতবাদ অনুযায়ী বলা হয়, প্রত্যেক জড়পদার্থের মধ্যে একপ্রকার ভারশূন্য অদৃশ্য পদার্থ অবস্থান করে। উহা ক্যালোরিক (Caloric) নামে পরিচিত। কোন বস্তুর মধ্যে ঐ ক্যালোরিকের আধিক্য ঘটিলে বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়; আবার ঐ ক্যালোরিক বস্তু হইতে চলিয়া গেলে বস্তুর উষ্ণতা কমিয়া যায়। এই মতবাদ অনুযায়ী বিভিন্ন বস্তুর মধ্যে তাপের আদান-প্রদান ইত্যাদি ব্যাখ্যা করা পূর্বেই সম্ভব হইয়াছিল। কিন্তু তাপ-বিজ্ঞানের প্রসারের সঙ্গে সঙ্গে বিভিন্ন ঘটনাবলীর, বিশেষতঃ তাপ-উৎপত্তির কার্যকারণের ব্যাখ্যা দিতে গিয়া উপরোক্ত ক্যালোরিক মতবাদ আর টিকিয়া থাকিতে পারিল না। ফলে যান্ত্রিক মতবাদ প্রবর্তিত হইল।

যান্ত্রিক মতবাদ—এই মতবাদ হিসাবে, আমরা বলিয়া থাকি কোন বস্তুর ভরশীল অণুগুলি প্রচণ্ড বেগে প্রতিনিয়ত বস্তুর মধ্যে ইতস্ততঃ চলাচল করে। গতিশীল এই অণুগুলির আনুষঙ্গিক গতিশক্তিই (Kinetic energy) মূলতঃ বস্তুতে তাপশক্তিরূপে প্রকাশ পায়।

বিজ্ঞানী কাউন্ট রামফোর্ডের (Rumford) বিখ্যাত কামান-ছিদ্র পরীক্ষা এই যান্ত্রিক মতবাদের প্রধান পরিপোষক।

পরীক্ষা—ব্যাভেরিয়া সরকারের উপদেশ অনুসারে বিজ্ঞানী কাউন্ট রামফোর্ড

একবার কামান তৈয়ারীর তত্ত্বাবধান করিতেছিলেন। ঐ সময় তিনি লক্ষ্য করেন যে, তুরপুন (drill) দ্বারা কামানের নল ছিদ্র করিবার সময় নলটি হইতে বিচ্ছিন্ন ধাতুচূর্ণগুলি অত্যধিক উত্তপ্ত হইয়া নির্গত হইতেছিল। তিনি আরও লক্ষ্য করেন যে, কামানের নলটিরও ঐ সঙ্গে উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইতেছিল। ইহার দ্বারা তিনি তখন এই সিদ্ধান্তে উপনীত হইলেন যে, তুরপুন দ্বারা কামানের নল ছিদ্র করিবার সময় দুইটি বস্তুর ঘর্ষণে যে যান্ত্রিক শক্তি ব্যয়িত হয় তাহাতে বস্তুর অণুগুলির গতিশক্তি বৃদ্ধি হয় এবং ইহাই বস্তুতে তাপশক্তিরূপে প্রকাশিত হইয়া বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধি করে।

তাপ উৎপত্তি সম্পর্কে যান্ত্রিক মতবাদটি ডেভী সাহেবের বরফ-গলানো পরীক্ষা দ্বারাও সমর্থিত হইয়াছিল। বিজ্ঞানী ডেভী একটি বায়ুশূন্য অত্যধিক শীতল আবেষ্টনে দুইচাকা বরফ ঘর্ষণ দ্বারা গলাইতে সমর্থ হইয়াছিলেন এবং তিনি দেখাইলেন যে, ঘর্ষণকার্যে ব্যয়িত যান্ত্রিক শক্তিই এক্ষেত্রে তাপশক্তিতে পরিণত হওয়ায় বরফ-গলানো সম্ভবপর হইয়াছে।

1·5. তাপের ফলাফল (Effects of heat) : বস্তুতে তাপ-প্রয়োগে নানারূপ ফল পরিলক্ষিত হয়। নিম্নে ইহার কতকগুলি দৃষ্টান্ত দেওয়া হইল :

(1) উষ্ণতার পরিবর্তন—সাধারণতঃ দেখা যায় কোন বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করিলে বস্তুর উষ্ণতা বা তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায় এবং বস্তু হইতে তাপ অপসারিত হইলে বস্তুর উষ্ণতা কমিয়া যায়।

(2) আকার ও আয়তনের পরিবর্তন—সাধারণতঃ তাপ প্রয়োগে বস্তুর উষ্ণতা-বৃদ্ধির সহিত উহার বিভিন্ন প্রকারের সম্প্রসারণ ঘটে। আবার বস্তু হইতে তাপ অপসারণের ফলে যখন বস্তুর উষ্ণতা কমিয়া আসে তখন উহা সঙ্কুচিত হয়।

(3) অবস্থার পরিবর্তন—একটুকরা বরফে তাপ প্রয়োগ করিলে উহা গলিয়া জলে পরিণত হয় এবং ঐ জলকে আরও উত্তপ্ত করিলে উহা পরিশেষে জলীয় বাষ্পে পরিণত হয়। আবার, জলীয় বাষ্প হইতে তাপ-অপসারণে উহা পুনরায় জলে পরিণত হয় এবং ঐ জল হইতে আরও তাপ অপসারিত হইলে শেষপর্যন্ত বরফে রূপান্তরিত হয়। সুতরাং আমরা বলিয়া থাকি তাপ প্রয়োগ বা তাপ-অপসারণে বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন ঘটে।

(4) ভৌতিক গুণের পরিবর্তন (Change in physical properties)—তাপাধিক্যে কঠিন বস্তুর স্থিতিস্থাপকতা (Elasticity) কমিয়া যায়, একটি ধাতব তারের তড়িৎ-পরিবাহিতা (Electric conductivity) হ্রাসপ্রাপ্ত হয়, ইত্যাদি।

(5) রাসায়নিক পরিবর্তন—তাপ-প্রয়োগে ক্লোরো পটাসের (Potassium

Chlorate) রাসায়নিক বিশ্লেষণ ঘটে, বায়ুর অক্সিজেনের সহিত কয়লার রাসায়নিক সংযোগে কয়লা জ্বলিয়া উঠে, ইত্যাদি।

(6) তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি—আমরা দেখিতে পাই, তামা এবং লোহার তারের তৈয়ারী একটি তাপযুগ্মের (Thermo-couple) দুইটি জোড়মুখের যে-কোন একটিতে তাপ প্রয়োগ করিলে ক্ষীণ তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয়।

(7) প্রাণরক্ষা ও প্রাণনাশ—আমরা দেখিতে পাই, প্রত্যেক সজীব পদার্থেরই জল ও বায়ুর মতো জীবনধারণ করিবার জন্য তাপের প্রয়োজন হয়। কিন্তু অত্যধিক তাপ প্রাণনাশক—যেমন, গাছপালা অত্যধিক তাপে শুকাইয়া যায়; দাবানল ইত্যাদিও অত্যধিক তাপেরই ফল।

1·6. তাপ ও উষ্ণতার পার্থক্য (Distinction between heat and temperature) :

(1) তাপ একপ্রকারের শক্তি। ইহা পরিমাপযোগ্য। উষ্ণতা বা তাপমাত্রা বস্তুর তাপীয় অবস্থার নির্দেশক।

(2) তাপবৃদ্ধিতে বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধি হয়। আবার তাপের অপসারণে বস্তুর উষ্ণতা হ্রাস পায়। কাজেই তাপকে কারণ (cause) ধরিলে, উষ্ণতা উহার ফল (effect) নির্দেশ করে।

(3) দুইটি সমান ওজনের বিভিন্নজাতীয় বস্তুর সম-উষ্ণতাই বস্তু দুইটির মধ্যে সমপরিমাণ তাপ নির্দেশ করে না। যেমন, এক পাউণ্ড ওজনের একটি লৌহপিণ্ড এবং এক পাউণ্ড ওজনের জল সম-উষ্ণতাপ্রাপ্ত হইলেও দেখা যায়, এক পাউণ্ড জলের মধ্যে তাপের মোট পরিমাণ এক পাউণ্ড লৌহপিণ্ডের তাপের তুলনায় অনেক বেশী।

সারাংশ

তাপ একপ্রকারের শক্তি। এই শক্তির বৃদ্ধিতে বস্তু উত্তপ্ত হয় এবং এই শক্তির হ্রাসে বস্তু শীতল হয়।

উষ্ণতা বা তাপমাত্রা—উষ্ণতা বস্তুর তাপীয় অবস্থা নির্দেশ করে। বস্তুর উষ্ণতা বা তাপমাত্রাকে অনেকসময় জলের লেভেলের সঙ্গে তুলনা করা হয়।

তাপ-উৎপত্তির কার্যকারণ লক্ষ্য করিলে আমরা দেখিতে পাই যে, অন্য কোন শক্তির (যথা : রাসায়নিক শক্তি, ঘর্ষণকার্যে ব্যয়িত যান্ত্রিক শক্তি ইত্যাদি) বিনিময়ে তাপশক্তির সৃষ্টি হইয়া থাকে।

বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করিলে নানারূপ ফল পরিলক্ষিত হয়।

তাপ ও উষ্ণতার পার্থক্য—তাপ একপ্রকারের শক্তি। ইহা পরিমাপযোগ্য। উষ্ণতা বস্তুর তাপীয় অবস্থার নির্দেশক। তাপকে কারণ ধরিলে উষ্ণতা উহার ফল নির্দেশ করে।

প্রশ্নমালা

1. তাপ এবং উষ্ণতার মধ্যে পার্থক্য কি? [Distinguish between heat and temperature.]

2. তাপ-প্রয়োগে বস্তুতে কি কি ফল পরিলক্ষিত হয় তাহা সংক্ষেপে আলোচনা কর। [Discuss in short the various effects of heat when applied to a body.]

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

থার্মমিতি (Thermometry)

2·1. উষ্ণতা বা তাপমাত্রা মাপিবার মূলনীতির আলোচনা (Underlying principles of measuring temperature) : তাপমাত্রা মাপিবার নানাবিধ যন্ত্রের (Thermometer) উদ্ভাবনের পূর্বে আমাদের স্পর্শ-ইন্দ্রিয়ই বস্তুর উষ্ণতা অনুভবের একমাত্র নির্দেশক ছিল। সাধারণতঃ স্পর্শের সাহায্যে তাপমাত্রা সঠিকভাবে অনুমিত হইতে পাবে না। বিশেষতঃ, যখন দুইটি বস্তুর মধ্যে উষ্ণতার সামান্য পার্থক্য থাকে তখন স্পর্শদ্বারা ঐ পার্থক্য নির্ণয় করা আদৌ সম্ভব নহে।

সুতরাং, বস্তুর তাপমাত্রা মাপিবার এমন যন্ত্র উদ্ভাবন করা প্রয়োজন যাহাদ্বারা তাপমাত্রার নির্দেশ কোন লোকের অনুমান বা অনুভূতির উপর নির্ভর করে না।

এই যন্ত্র উদ্ভাবনের মূলনীতিটি এইরূপ—উষ্ণতা-পরিবর্তনের সহিত বস্তুতে যেসমস্ত ফলাফল সুস্পষ্টভাবে পরিলক্ষিত হয় তাহার পরিপ্রেক্ষিতে তাপমাত্রা নির্ণীত হয়। উক্ত নীতি কার্যে পরিণত করিয়া যেসমস্ত যন্ত্র উদ্ভাবিত হইয়াছে তাহাদিগকে আমরা **তাপমাত্রা-মাপক যন্ত্র** বা **'থার্মোমিটার'** (Thermometer) বলিয়া থাকি।

এই নীতি অবলম্বন করিয়া যে যন্ত্রগুলি উদ্ভাবিত হইয়াছে তাহাদের কয়েকটি নিম্নে উল্লেখ করা হইল :

(1) লিকুইড-থার্মোমিটার (Liquid-Thermometer)—উষ্ণতার পরিবর্তনে তরল পদার্থের আয়তনের পরিবর্তন ঘটে। এই আয়তনের পরিবর্তন দ্বারা বস্তুর উষ্ণতা নির্ণীত হইতে পারে। এই নীতি অনুসরণ করিয়া যে তাপমাত্রা-মাপক যন্ত্র তৈয়ারী করা হয়, তাহার নাম **'লিকুইড-থার্মোমিটার'**; যথা—**পারদ-থার্মোমিটার, কোহল-থার্মোমিটার** ইত্যাদি।

(2) গ্যাস-থার্মোমিটার (Gas-Thermometer)—চাপ ঠিক রাখিয়া উষ্ণতার পরিবর্তনের সহিত কোন নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তন হয়। অনুরূপভাবে আয়তন অপরিবর্তিত রাখিয়া উষ্ণতার পরিবর্তনের ফলে উল্লিখিত নির্দিষ্ট ভর-সম্পন্ন গ্যাসের চাপের পরিবর্তন ঘটে।

সুতরাং, উপরোক্ত গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তন এবং চাপের পরিবর্তনের সাহায্যে বস্তুর উষ্ণতা নির্দেশ করা সম্ভব। এই নীতিকে কার্যে পরিণত করিয়া

বিভিন্ন প্রকারের গ্যাস-থার্মোমিটার উদ্ভাবিত হইয়াছে ; যথা—Constant Pressure Air-Thermometer, Constant Volume Hydrogen-Thermometer ইত্যাদি।

(3) তড়িৎ-পরিবাহী-রোধক-থার্মোমিটার (Resistance-Thermometer)— উষ্ণতার পরিবর্তনের সহিত তড়িৎ-পরিবাহী রোধের (Electrical resistance) পরিবর্তন সংঘটিত হয়। এই রোধের পরিবর্তনের পরিপ্রেক্ষিতে উষ্ণতা মাপা সম্ভব হয়। Platinum Resistance-Thermometer এই তড়িৎ-পরিবাহী-রোধক-থার্মোমিটারের বিশিষ্ট উদাহরণ।

2·2. উষ্ণতা মাপের জন্য ব্যবহার্য তরল পদার্থের আবশ্যকীয় গুণাবলী : যে তরল পদার্থ থার্মোমিটারে ব্যবহার করা হয় তাহার নিম্নলিখিত গুণাবলী থাকা আবশ্যক :

(1) ইহাকে অস্বচ্ছ এবং উজ্জ্বল হইতে হইবে।

(2) ইহাকে উত্তম তাপ-পরিবাহী (Good conductor of heat) হইতে হইবে।

(3) উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে ইহার আয়তনের নিয়মিত প্রসারণ দরকার এবং প্রসারাঙ্ক (Co-efficient of expansion) অধিক হওয়া প্রয়োজন।

(4) ইহার স্ফুটনাঙ্ক (Boiling-point) উচ্চ এবং হিমাঙ্ক (Freezing-point) কম হওয়া আবশ্যক।

(5) ইহার আপেক্ষিক তাপ (Specific heat) এবং ঘনত্ব (Density) কম হওয়া প্রয়োজন।

যদিও উপরোক্ত গুণাবলী সমগ্রভাবে কোন তরল পদার্থেই পরিলক্ষিত হয় না, তথাপি গুণাবলীর বিশ্লেষণ করিলে দেখা যায় যে থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহার সর্বাধিক সুবিধাজনক। অবশ্য কোন কোন ক্ষেত্রে কোহলও ব্যবহার করা হয়।

2·3. পারদ-থার্মোমিটার (Murcury-in-glass-Thermometer) এবং থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহারের সুবিধা : যে থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহার করিয়া উহার প্রসারণ এবং সঙ্কোচনের সাহায্যে বিভিন্ন তাপমাত্রা নির্ণয় করা সম্ভব হয়, তাহাকে **পারদ-থার্মোমিটার** বলে। নিম্নলিখিত কারণে থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহার করা সুবিধাজনক।

(1) পারদ বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায় এবং ইহা অস্বচ্ছ ও রৌপ্যবৎ উজ্জ্বল। সুতরাং, থার্মোমিটারের মধ্যে পারদতন্তু (Mercury thread) সুস্পষ্টভাবে দেখা যায়।

(2) ইহা উত্তম তাপ-পরিবাহী। কাজেই যে বস্তুর উষ্ণতা মাপা হইবে, তাহা হইতে ইহা দ্রুত তাপ গ্রহণ করিতে পারে।

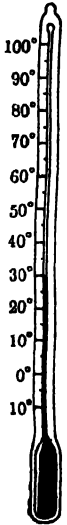
(3) উত্তাপে ইহার নিয়মিত প্রসারণ ঘটে কাজেই ইহার প্রসারণ ধরা হয়, উষ্ণতার সহিত সমানুপাতিক।

(4) ইহার আপেক্ষিক তাপ কম। অতএব উত্তপ্ত বস্তু হইতে অল্প-পরিমাণে তাপ গ্রহণ করিয়াই উষ্ণ বস্তুর সহিত সম-উষ্ণতাপ্রাপ্ত হয় ; কিন্তু উষ্ণ বস্তুটির তাপমাত্রার উল্লেখযোগ্য তারতম্য ঘটে না।

(5) ইহার স্ফুটনাঙ্ক (Boiling-point) অনেক বেশী (357°C) এবং হিমাঙ্ক (Freezing-point) বরফের উষ্ণতা হইতে অনেক কম। সুতরাং অধিকতর পরিসরে (wide range) ইহার দ্বারা উষ্ণতা মাপা সম্ভব।

(6) বিশুদ্ধ পারদতন্তু কাচের নলের গায়ে আটকাইয়া না থাকিয়া সহজভাবে উঠানামা করিতে পারে। সুতরাং, তাপমাত্রা-পরিবর্তন সুস্পষ্টভাবে নির্দেশ করা সম্ভব হয়।

2·4. পারদ-থার্মোমিটারের বর্ণনা: পরীক্ষাগারে সাধারণতঃ যে পারদ-থার্মোমিটার ব্যবহৃত হয় তাহা 2A চিত্রে দেখানো হইল। এই থার্মোমিটার একটি কোমলায়িত (annealed) কাচের নলদ্বারা প্রস্তুত করা হয়। উহার নিম্নাংশে চোঙাকৃতি কুণ্ড এবং উপরপ্রান্ত বন্ধ থাকে। নলটির দেওয়াল মোটা কিন্তু অভ্যন্তরে দৈর্ঘ্য বরাবর সম-ব্যাসবিশিষ্ট সূক্ষ্ম ছিদ্র আছে। কুণ্ড এবং কাচনলের কিয়দংশ বিশুদ্ধ পারদপূর্ণ। নলটির গায়ে একটি চিহ্নিত স্কেল আছে। কোন বস্তুর তাপমাত্রা নির্দেশ করিতে হইলে, থার্মোমিটারের কুণ্ডটি বস্তুটির সংস্পর্শে রাখিতে হইবে। পারদ প্রসারিত হওয়ায় পারদতন্তু স্কেলের যে অংশাঙ্কনে পৌছায় উহাই বস্তুটির তাপমাত্রা নির্দেশ করে। কাচনলটির শূন্যস্থানে অনেকসময় অত্যধিক চাপবিশিষ্ট নাইট্রোজেন গ্যাস ব্যবহার করিয়া ঐ থার্মোমিটার দ্বারা জলের স্ফুটনাঙ্ক হইতেও অধিক উষ্ণতা নির্ণয় করা সম্ভব হয়।



চিত্র 2A

2·5. (ক) পারদ-থার্মোমিটারের প্রস্তুত-প্রণালী: পারদ-থার্মোমিটারে ব্যবহারের জন্য বিশেষভাবে তৈয়ারী একপ্রকারের কাচের নল বাজারে পাওয়া যায়। এই নলের বৈশিষ্ট্য হইল এই যে, ইহা উত্তমরূপে কোমলায়িত (properly annealed) ; ইহার দেওয়াল পুরু কিন্তু অভ্যন্তরের ছিদ্র সূক্ষ্ম এবং সর্বত্র সম-ব্যাসবিশিষ্ট।

এইপ্রকারের কাচের নল হইতে আনুমানিক 25 সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্যের একটুকরা নল লও। নলটির অভ্যন্তর ভালোভাবে পরিষ্কার কর এবং শুকাও। অতঃপর উহার

একপ্রান্তের খোলা মুখ আগুনে গলাইয়া একটি চোঙাকৃতি কুণ্ড (Bulb) তৈয়ারী কর। অপরপ্রান্তের খোলা মুখটির কিছু নীচে নলটিকে উত্তপ্ত করিয়া ঐ স্থানের ছিদ্র একটু সূক্ষ্ম কর। ঐ স্থানের ভিতরের আকৃতি 2B চিত্রে দেখানো হইল।



চিত্র 2B

এখন এই খোলা মুখে একটি ফানেল, রবারের টিউবের সাহায্যে সংযুক্ত কর। ফানেলটির মধ্যে কিছু বিশুদ্ধ এবং শুষ্ক পারদ লও। কাচনলটির ছিদ্র সূক্ষ্ম হওয়ায় এবং ভিতর বায়ুপূর্ণ থাকায় নলটির অভ্যন্তরে সহজভাবে পারদ প্রবেশ করিবে না। কাজেই কুণ্ডটি পারদপূর্ণ করিবার জন্য উহাকে পর্যায়ক্রমে গরম এবং ঠাণ্ডা করিতে থাক যতক্ষণ পর্যন্ত না কুণ্ডটির কিয়দংশ পারদপূর্ণ হয়। অতঃপর এই আংশিক পারদপূর্ণ কুণ্ডটিকে খুব সতর্কতার সহিত উত্তাপ দিতে থাক যতক্ষণ পর্যন্ত না পারদ ফুটিতে থাকে। ফলে পারদবাষ্প নলটির মধ্যে অবস্থিত বায়ু ইত্যাদি অপসারিত করিবে। কুণ্ডটিকে এখন শীতল কর। বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপে ফানেলে অবস্থিত পারদ নলের অভ্যন্তরে প্রবেশ করিয়া কুণ্ডটি এবং নলের কিয়দংশ পারদপূর্ণ করিবে।

থার্মোমিটারটি ভবিষ্যতে সর্বোচ্চ যে তাপমাত্রার জন্য ব্যবহৃত হইবে উহা হইতে অধিক উত্তপ্ত কোন তরল পদার্থে কুণ্ডটি ডুবাইয়া রাখ। যদি নলে অতিরিক্ত পারদ থাকে তবে উহা প্রসারিত হইয়া ফানেলে উঠিয়া আসিবে। ফানেল হইতে অতিরিক্ত পারদ এইবারে সরাইয়া লও এবং কুণ্ডটিকে শীতল করিতে থাক। যখন পারদ সঙ্কুচিত হইয়া নলের সরু অংশে পৌছিবে তখনই তীব্র এবং তীক্ষ্ণ (pointed) আলোকশিখা দ্বারা ঐ স্থানটি রুদ্ধ করিয়া দাও। এখন যে যন্ত্রটি নির্মিত হইল উহাকে কিছুসময় ফেলিয়া রাখিয়া স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসিতে দাও। অতঃপর ঐ থার্মোমিটারটি ব্যবহারের পূর্বে উহার গায়ে উর্ধ্বস্থিরাঙ্ক এবং নিম্নস্থিরাঙ্ক সহ নিম্নলিখিত পদ্ধতিতে স্কেল অঙ্কন কর।

(খ) **থার্মোমিটারের স্কেল নির্দেশ** (Thermometric Scale Graduations)—পারদ-থার্মোমিটারের নলের গায়ে স্কেল তৈয়ারী করার একটি বিশেষ পদ্ধতি আছে।

প্রথমতঃ থার্মোমিটারের গায়ে উপরে এবং নীচে **দুইটি স্থিরাঙ্ক** নির্দেশ করিতে হয়। তারপর অন্তর্বর্তী স্থানে কতকগুলি সমান দূরত্বের দাগ কাটিতে হইবে। এই দাগগুলির সমষ্টিকে থার্মোমিটারের স্কেল বলা হয়।

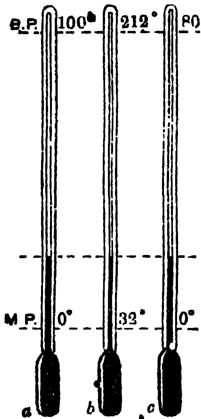
থার্মোমিটারের পারদপূর্ণ কুণ্ড বরফের মধ্যে রাখিলে যখন উহার উষ্ণতা বরফের

উষ্ণতার সমান হইবে তখন পারদতন্তুর শীর্ষ নলের যেস্থান পর্যন্ত পৌঁছিয়া স্থির হইবে সেখানে একটি দাগ কাটিতে হইবে। এই চিহ্নটিকে **নিম্নস্থিরাঙ্ক** (Lower fixed point) বা **হিমাঙ্ক** বলে।

অতঃপর বায়ুর প্রমাণ চাপে (Normal pressure) বিশুদ্ধ জল রাখিয়া থার্মোমিটারের কুণ্ডটি এবং নলের কিয়দংশ উহাতে নিমজ্জিত কর এবং ঐ জলকে ফুটাও। কুণ্ডের পারদ প্রসারিত হওয়ায় থার্মোমিটারের পারদতন্তু যেস্থানে আসিয়া পৌঁছায় ঐ স্থানটিতে একটি দাগ কাটিতে হইবে। এই চিহ্নটিকে **ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক** (Upper fixed point) বা **স্ফুটনাঙ্ক** বলে।

সেন্টিগ্রেড পদ্ধতিতে এই দুইটি স্থিরাঙ্কের অন্তর্বর্তী স্থানকে 100টি সমানভাবে বিভক্ত করা হয়। নিম্নস্থিরাঙ্কটিকে 0° সেন্টিগ্রেডে (0°C) এবং ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্কটিকে 100° ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে (100°C) চিহ্নিত করা হয়। সুতরাং, এই স্কেলের প্রতিটি ভাগ এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড (1°C) নির্দেশ করে।

সাধারণতঃ 100° ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডের উপরে এবং 0° সেন্টিগ্রেডের নিম্নে থার্মোমিটারের গায়ে ডিগ্রী-চিহ্নিত কিছুসংখ্যক দাগ কাটা থাকে। ইহার সাহায্যে আবশ্যক হইলে জলের স্ফুটনাঙ্কের ঊর্ধ্বের এবং জলের হিমাঙ্কের নীচের তাপমাত্রা নির্দেশ করা সম্ভব হয়।



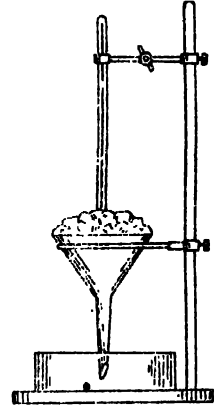
চিত্র 2C

ফারেনহাইট স্কেলে উপরোক্ত দুইটি স্থিরাঙ্কের অন্তর্বর্তী স্থান 180টি সমভাগে দাগ কাটা হয় এবং নিম্নস্থিরাঙ্কটি 32°F এবং ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্কটিকে 212°F-এ চিহ্নিত করা হয়। সুতরাং, এক্ষেত্রে প্রতিটি ভাগ 1°F নির্দেশ করে। 2C চিত্রে উপরোক্ত দুইটি পদ্ধতিতে থার্মোমিটারের অংশাঙ্কন (graduation) দেখানো হইল। ঐ চিত্রে রুমার স্কেল (Reaumur Scale)-টিও দেওয়া আছে। ইহার ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক 80°R ও নিম্নস্থিরাঙ্ক 0°R এবং ইহার অন্তর্বর্তী স্থান 80 টি সমান ভাগে বিভক্ত।

2·6. নিম্নস্থিরাঙ্ক নিরূপণের পদ্ধতি (Determination of lower fixed point of a Thermometer) : নিম্নস্থিরাঙ্ক নির্ণয় করার জন্য 2D চিত্রে প্রদর্শিত পদ্ধতি অবলম্বন করা প্রয়োজন।

একটি বড় ফানেল লও এবং কিছু পরিষ্কার বরফের টুকরা দ্বারা উহা ভর্তি কর।

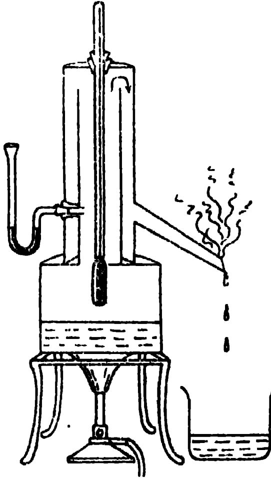
বরফকুচিগুলি এমনভাবে রাখিতে হইবে যেন উহারা পরস্পর দৃঢ়সংলগ্ন না হয় এখন যে থার্মোমিটারটির নিম্নস্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে, উহার কুণ্ড এবং নলের কিয়দংশ বরফপূর্ণ ফানেলের মধ্যে রাখ। দৃষ্টি রাখিতে হইবে যেন কুণ্ডটি সর্বদা বরফের সংস্পর্শে থাকে। নলের ভিতরের পারদতন্তু স্থির অবস্থায় আসিলে ঐ স্থানটিতে এইবার একটি দাগ কাট। এই চিহ্নটিকে থার্মোমিটারের নিম্নস্থিরাঙ্ক (Lower fixed point) বলে। অর্থাৎ কুণ্ডটির উষ্ণতা যখন বরফের উষ্ণতা প্রাপ্ত হইবে তখন নলের অভ্যন্তরস্থিত পারদতন্তু-শীর্ষ ঐ চিহ্নে অবস্থান করিবে।



চিত্র 2D

2·7. ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক নিরূপণের পদ্ধতি (Determination of upper fixed point):

2E চিত্রে প্রদর্শিত উপায় অবলম্বন করিয়া থার্মোমিটারের ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক (Upper fixed point) নির্ণয় করা হয়। যে বিশেষ যন্ত্রের সাহায্যে ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক নির্ণয় করা হয় তাহাকে হিপ্‌সোমিটার (Hypsometer) বলে। যন্ত্রটি বস্তুতঃ একটি দুই-প্রকোষ্ঠযুক্ত স্টীম-বয়লার (বাষ্প তৈয়ারীর পাত্র); ইহার একপার্শ্বে একটি ম্যানোমিটার (Manometer) এবং অপরপার্শ্বে বাষ্প-নির্গমন নল সংযুক্ত আছে। ম্যানোমিটারের মধ্যে পারদ রাখা হয়। জলের স্ফুটনাঙ্ক (Boiling-point) নিরূপণ করিতে হইলে থার্মোমিটারের কুণ্ডটিকে জলের কিছুটা উপরে রাখিতে হইবে যাহাতে থার্মোমিটারটি কেবলমাত্র শুষ্ক বাষ্পের সংস্পর্শে আসিতে পারে (চিত্রে দ্রষ্টব্য)। এখন হিপ্‌সোমিটারে তাপ প্রয়োগ করিতে থাক এবং লক্ষ্য রাখ কোন্ সময় ম্যানোমিটারের দুই বাহুর পারদশীর্ষ একই লেভেলে অবস্থান করে। যখন ম্যানোমিটারের দুই বাহুর পারদশীর্ষ একই লেভেলে আসে তখন বুঝিতে হইবে যে, হিপ্‌সোমিটারের জল ফুটিতেছে। থার্মোমিটারের পারদতন্তুর শীর্ষ সর্বোচ্চ সীমায় পৌঁছিয়া স্থির হইলে ঐ স্থানে একটি দাগ কাট। ঐ দাগ-চিহ্নটিকেই থার্মোমিটারের ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক বলা হয়। (এক্ষেত্রে বাহিরের বায়ু প্রমাণ চাপবিশিষ্ট বলিয়া ধরিয়া লওয়া হইল।)



যদি বাহিরের বায়ু প্রমাণ চাপবিশিষ্ট (normal pressure) না হয়, তাহা হইলে নিম্নলিখিত উপায়ে ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্কের সংশোধন করিতে হইবে।

ধরিয়া লও, পরীক্ষার সময় হিপ্‌সোমিটারের ভিতরে বাষ্পের চাপ 746 মিলিমিটার। স্ফুটনাঙ্ক এবং বাষ্পের চাপের তালিকা হইতে দেখা যায় যে, 746 মিলিমিটার চাপে জলের স্ফুটনাঙ্ক 99°·5 ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড; মনে কর, আমাদের পরীক্ষায় দেখা গেল নিম্নস্থিরাঙ্ক হইতে পারদতন্তুর দৈর্ঘ্য 20 cms.। সুতরাং, সেন্টিগ্রেড স্কেল অনুসারে, নিম্নস্থিরাঙ্ক এবং প্রকৃত ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্কের মধ্যে দূরত্ব হইবে,

$$\frac{x}{20}=\frac{100}{99\cdot5}$$

$$\text{or, } x=\frac{100\times20}{99\cdot5}=20\cdot1 \text{ cms.}$$

কাজেই এক্ষেত্রে আমাদিগকে নিম্নস্থিরাঙ্ক হইতে 20·1 cms. ঊর্ধ্বে থার্মোমিটার-নলের গাত্রে ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্কের দাগ কাটিতে হইবে।

2·8. থার্মোমিটার সম্পর্কে আলোচনা:

(ক) **থার্মোমিটারে সূচিত তাপমাত্রার প্রকৃত অর্থ (Meaning of the Thermometer-reading)**—মনে কর, একটি সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটার কোন বস্তুর উষ্ণতা 50°C নির্দেশ করে—এই উক্তি হইতে আমরা বুঝিব যে, থার্মোমিটারের পারদকুণ্ড উষ্ণ বস্তুটির সংস্পর্শে আসাকালীন উহা হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া যখন বস্তুটির সহিত সম-উষ্ণতা প্রাপ্ত হয় তখন কুণ্ডের পারদ প্রসারিত হইয়া স্কেলের নিম্নস্থিরাঙ্ক হইতে (এক্ষেত্রে 0°C) 50 ঘর পর্যন্ত উত্থিত হয়। অনুরূপভাবে একটি ফারেনহাইট থার্মোমিটার কোন বস্তুর তাপমাত্রা 50°F সূচিত করিলে বুঝিতে হইবে, থার্মোমিটারটির পারদতন্তু নিম্নস্থিরাঙ্ক হইতে (এক্ষেত্রে 32°F) 18 ঘর পর্যন্ত উত্থিত হইয়াছে।

(খ) **থার্মোমিটার সুবেদী (sensitive) হওয়ার অর্থ**—থার্মোমিটার সুবেদী হওয়ার অর্থ এই যে, খুব সামান্য তাপমাত্রা-পরিবর্তনেও থার্মোমিটার-নলের পারদতন্তুর উঠানামা সুস্পষ্টভাবে পরিলক্ষিত হইবে। থার্মোমিটারটি সুবেদী হইতে হইলে থার্মোমিটারের কুণ্ডটি আকারে বড় এবং থার্মোমিটার-নলের ছিদ্র সূক্ষ্ম হওয়া প্রয়োজন। কেননা কুণ্ডটি বড় হইলে উহার মধ্যে পারদের পরিমাণ বেশী থাকিবে এবং তাপ-পরিবর্তনে উহার আয়তনের পরিমাণ অপেক্ষাকৃত বেশী হইবে ও ইহাতে পারদ-তন্তুর উঠানামা সহজেই বুঝা যাইবে।

(গ) **থার্মোমিটার দ্রুত কার্যকর (quick-acting) হওয়ার অর্থ**—কোন বস্তুর তাপমাত্রা থার্মোমিটারের সাহায্যে যত তাড়াতাড়ি নির্ণয় করা যায় উহাকে

তত দ্রুত কার্যকর বলা হয়। থার্মোমিটারের কুণ্ডটির দেওয়াল পাতলা এবং কুণ্ডটি অপেক্ষাকৃত কম আয়তনের হইলে উহা দ্রুত কার্যকর হইয়া থাকে।

(ঘ) **থার্মোমিটার নিখুঁত (accurate) হওয়ার অর্থ**—সম-তাপমাত্রাভেদে থার্মোমিটারের বিভিন্ন স্থানের পাঠের পার্থক্য সমান হইলে বুঝিতে হইবে যে, থার্মোমিটারটি নিখুঁত। এক্ষেত্রে নলটির রন্ধ্র সর্বত্র সমব্যাসের হইতে হইবে; অন্যথায় সম-তাপমাত্রাভেদে পারদতন্তু নলের মধ্যে সমপরিসরে অগ্রসর হইবে না।

2·9. সেন্টিগ্রেড স্কেল ও ফারেনহাইট স্কেলের মধ্যে সম্পর্ক এবং এক স্কেলে সূচিত তাপমাত্রা অন্য স্কেলে প্রকাশ করার নিয়মঃ আমরা জানি, সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটারে নিম্নস্থিরাঙ্ক ও ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী অংশ 100 টি সমান ভাগে বিভক্ত এবং ফারেনহাইট স্কেলে উক্ত স্থিরাঙ্ক দুইটির মধ্যবর্তীর স্থান 180 টি সমান ভাগে বিভক্ত।

সুতরাং, সেন্টিগ্রেড স্কেলের $1°$ অথবা এক ঘর এই দুই স্থিরাঙ্কের ব্যবধানের একশত ভাগের এক ভাগ ($\frac{1}{100}$); কাজেই, $C°$ সেন্টিগ্রেড = দুই স্থিরাঙ্কের দূরত্বের $\frac{C}{100}$।

ফারেনহাইট স্কেলে দুই স্থিরাঙ্কের মধ্যবর্তী স্থান 180 ঘরে বিভক্ত। সুতরাং, উহার এক ঘর এই দুই স্থিরাঙ্কের ব্যবধানের একশত আশি ভাগের এক ভাগের ($\frac{1}{180}$) সমান।

পূর্বেই উল্লেখিত হইয়াছে যে, ফারেনহাইট স্কেলে নিম্নস্থিরাঙ্ক 32°F দ্বারা চিহ্নিত। সুতরাং, এক্ষেত্রে ফারেনহাইট ডিগ্রী এবং ফারেনহাইট ঘর (Division) এক নহে।

$F°$ ফারেনহাইট বস্তুতঃ $F-32$ ঘর;

সুতরাং, $F-32$ ঘর = দুই স্থিরাঙ্কের দূরত্বের

$$\frac{F-32}{180}.$$

যদি কোন বস্তুর তাপমাত্রা সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটারের $C°$ সূচিত করে এবং ঐ একই তাপমাত্রা ফারেনহাইট থার্মোমিটারের $F°$ ডিগ্রী নির্দেশ করে তাহা হইলে,

$$\frac{C}{100}=\frac{F-32}{180},$$

অথবা, $$\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}.$$

এই সমীকরণের সাহায্যেই আমরা এক স্কেলে সূচিত তাপমাত্রা অন্য স্কেলে প্রকাশ করিতে পারি।

উদাহরণ। (1) (ক) 90°F-কে সেন্টিগ্রেডে রূপান্তরিত কর এবং (খ) –60°C সেন্টিগ্রেডকে ফারেনহাইটে রূপান্তরিত কর। [Convert (a) 90°F to °C; (b) –60°C to °F.]

উত্তর। (ক) আমরা জানি,

$$\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9}.$$

যখন $F = 90°$ তখন $\frac{C}{5} = \frac{90-32}{9}$.

$$\therefore \quad C = \frac{58 \times 5}{9} = 32°{\cdot}2C \text{ (approx.)}$$

(খ) যখন, $C = -60°C$ তখন $\frac{-60}{5} = \frac{F-32}{9}$,

অথবা, $F - 32 = \frac{-60 \times 9}{5} = -108.$

$$\therefore \quad F = -108 + 32 = -76°F.$$

(2) একটি অলিখিত থার্মোমিটারের হিমাঙ্ক –20° এবং স্ফুটনাঙ্ক 80° দ্বারা সূচিত হইলে, 50°C তাপমাত্রা ঐ থার্মোমিটারে কত ডিগ্রী নির্দেশ করিবে? [An unspecified Thermometer reads –20° at the ice-point and 80° at the steam-point. Calculate what would this Thermometer read corresponding to 50°C.]

উত্তর। এক্ষেত্রে ঐ অজানা থার্মোমিটারটির নিম্নস্থিরাঙ্ক হইতে ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্কের ব্যবধান 80 – (–20) = 100 ঘর।

মনে কর, $T°$ ঐ অজানা থার্মোমিটারটি সূচিত করে, যখন তাপমাত্রা 50°C.

সুতরাং, $\frac{C}{100} = \frac{T-(-20)}{100}$,

অথবা, $T = C - 20 = 50 - 20 = 30°$.

(3) কোন্ তাপমাত্রা সেন্টিগ্রেড এবং ফারেনহাইট স্কেলে একই ডিগ্রী সূচিত করে? [What temperature will give the same reading both for Centigrade and Fahrenheit Thermometers?]

উত্তর। মনে কর, এই তাপমাত্রা $T°$; তাহা হইলে সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটারে যখন $T°$C নির্দেশ করে, তখন ফারেনহাইট থার্মোমিটারেও $T°$F নির্দেশ করিবে।

সুতরাং, $\frac{T}{5} = \frac{T-32}{9}$,

অথবা, $9T = 5T - 160$,

অথবা, $4T = -160$.

$\therefore \quad T = -40°$.

(4) কোন্ তাপমাত্রা ফারেনহাইট স্কেলে সেন্টিগ্রেড স্কেলের তিনগুণ সূচিত করিবে? [What temperature which will give Fahrenheit reading three times as great as Centigrade reading ?]

উত্তর। মনে কর, এই তাপমাত্রা $T°$;

সুতরাং, $\frac{T}{5} = \frac{3T-32}{9}$,

অথবা, $9T = 15T - 160$,

অথবা, $9T - 15T = -160$.

অথবা, $-6T = -160$.

$\therefore \quad T = \frac{160}{6} = \frac{80}{3}$, অথবা, 26°·67 (approx.)

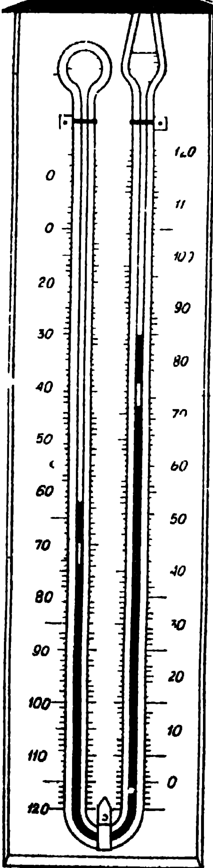
2·10. কোহল-থার্মোমিটার (Alcohol Thermometer) : বহুপূর্বে কোহল-থার্মোমিটার সাধারণ উষ্ণতা পরিমাপের জন্য ব্যবহৃত হইত। কিন্তু ইহার স্ফুটনাঙ্ক কম এবং প্রসারণ অনিয়মিত হওয়ার জন্য হিমাঙ্কের ঊর্ধ্বে বেশীদূর পর্যন্ত উষ্ণতা মাপা ইহাদ্বারা সম্ভবপর নহে। আমরা জানি, কোহলের হিমাঙ্ক −130°C। কাজেই নিম্নমাত্রার উষ্ণতা মাপার পক্ষে পারদ-থার্মোমিটারের তুলনায় এই থার্মোমিটারের ব্যবহার কার্যকর।

যে নিয়মে সাধারণতঃ পারদ-থার্মোমিটারে ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক নির্ণয় করা হয় অনুরূপভাবে কোহল-থার্মোমিটারের ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক নির্দেশ করা সম্ভব নহে। কারণ কোহলের স্ফুটনাঙ্ক 78°C (জলের স্ফুটনাঙ্ক হইতে অনেক নীচে)। কাজেই কোহল-থার্মোমিটারের ঊর্ধ্বস্থিরাঙ্ক পারদ-থার্মোমিটারের সঙ্গে তুলনায় নির্ণয় করা হয়।

আবহাওয়া-তত্ত্ব-অফিসে ব্যবহৃত গরিষ্ঠ ও লঘিষ্ঠ থার্মোমিটার (Maximum and Minimum Thermometer) একপ্রকারের কোহল-থার্মোমিটার। নিম্নে উহা বর্ণিত হইল।

2·11. সিক্সের গরিষ্ঠ ও লঘিষ্ঠ থার্মোমিটার (Six's Maximum and Minimum Thermometer) : ইহা একপ্রকারের কোহল-

থার্মোমিটার। ইহার অংশাঙ্কন ফারেনহাইট স্কেলে সূচিত। 2F চিত্রে এইরূপ একটি থার্মোমিটার দেখানো হইল। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায় যে, ইহা 'U' আকৃতির একটি নল। এই নলটির বাম বাহুর প্রান্তে একটি কুণ্ড (Bulb) এবং ডান বাহুর প্রান্তে একটি আধার (Reservoir) আছে। কুণ্ডটিসহ বাম বাহুর B-চিহ্নিত স্থান কোহলে পূর্ণ এবং ডান বাহুর C হইতে আধারের আংশিক স্থানও কোহলপূর্ণ। 'U' নলের বাকি অংশে (অর্থাৎ B হইতে C পর্যন্ত) একটি পারদতন্তু বিস্তৃত রহিয়াছে। চিত্রদৃষ্টে ইহা সুস্পষ্ট যে, 'U' নলের বাঁদিকে থার্মোমিটারের অংশাঙ্কন উপর হইতে নীচের দিকে এবং ডানদিকে ঐ অংশাঙ্কন নীচ হইতে উপরের দিকে। 'U' নলের দুই বাহুর প্রত্যেকটিতেই স্প্রিং সংযুক্ত একটি করিয়া লোহার সূচক (iron index) আছে। থার্মোমিটারটি ব্যবহার করিবার পূর্বে চুম্বকের সাহায্যে ঐ সূচক দুইটিকে 'U' নলের দুই বাহুর পারদশীর্ষের সংস্পর্শে আনিতে হইবে।



চিত্র 2F

উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে কুণ্ডের কোহল প্রসারিত হওয়ায় বাম বাহুর পারদশীর্ষ নীচের দিকে নামিবে এবং ডান বাহুর পারদশীর্ষ উপরের দিকে উঠিতে থাকিবে এবং ঐ সঙ্গে ডান বাহুর সূচকটিও নলের গা বাহিয়া ঊর্ধ্বে উঠিবে। কাজেই সর্বোচ্চ স্থির তাপমাত্রায় ডানদিকের সূচকটির অবস্থান হইতে সমগ্র দিবসের গরিষ্ঠ তাপমাত্রা নির্দেশিত হইয়া থাকে।

আবার যখন উষ্ণতা হ্রাস পায় তখন কোহলের সঙ্কোচন হওয়ায় বাঁদিকের পারদতন্তু উপরে উঠিবে এবং সেইসঙ্গে পারদশীর্ষও বাঁদিকের সূচকটিকে উপরের দিকে ঠেলিয়া দিতে থাকিবে। দিনের সর্বনিম্ন তাপমাত্রায় বাঁদিকের সূচকটির অবস্থান নির্দেশ করে সমগ্র দিবসের লঘিষ্ঠ তাপমাত্রা।

2·12. চিকিৎসায় ব্যবহৃত থার্মোমিটার (Clinical Thermo-

meter) ঃ ইহা একপ্রকারের সুগ্রাহী গরিষ্ঠ পারদ-থার্মোমিটার। ইহার অংশাঙ্কন ফারেনহাইট স্কেলে সূচিত। মানুষের জ্বর পরীক্ষার জন্য চিকিৎসকগণ এই থার্মোমিটার ব্যবহার করেন। সাধারণতঃ কোন জীবিত মানুষের দেহের উষ্ণতা 95°F-এর নিম্নে এবং 110°F-এর উর্ধ্বে পরিলক্ষিত হয় না। এই কারণে এই থার্মোমিটারের গায়ে 95°F হইতে 110°F পর্যন্ত অংশাঙ্কন থাকে এবং এক-একটি ঘর আবার সমান ৫ ভাগে বিভক্ত থাকে। সুস্থদেহের উষ্ণতা 98°·4F হওয়ায় উহা তীরচিহ্নিত থাকে। থার্মোমিটারের কুণ্ডের কিছু উপরে নলের রন্ধ্রটি সংকীর্ণ এবং বাঁকা থাকে। ইহা 2G চিত্রে *C* দ্বারা চিহ্নিত হইয়াছে। থার্মোমিটারের কুণ্ডটি দেহের সংস্পর্শে লইয়া আসিলে দেহের উষ্ণতায় কুণ্ডটি আসে এবং উহার মধ্যে অবস্থিত পারদ প্রসারিত হইয়া সরু রন্ধ্রপথে নলের মধ্যে উঠিয়া আসিবে এবং পারদতন্তু যে দাগে পৌঁছায় তাহার পাঠ শরীরের তাপমাত্রা নির্দেশ করে। সাধারণতঃ থার্মোমিটার দেহের সংস্পর্শে থাকাকালীন তাপমাত্রা পাঠ করা সম্ভবপর নহে। কাজেই তাপমাত্রা পাঠের সময় আমরা দেহ হইতে থার্মোমিটারটি সরাইয়া লই। ইহার ফলে, কুণ্ডের পারদ সঙ্কুচিত হইয়া পারদতন্তুটি দুই অংশে বিভক্ত হইয়া যায়। সরু রন্ধ্রটির উপরিভাগের পারদস্তম্ভটি ঐ রন্ধ্রপথে প্রবেশ করিতে পারে না। কাজেই উহার অবস্থান সুবিধামত পাঠ করিয়া আমরা দেহের তাপমাত্রা জানিতে পারি। ইহাই পরীক্ষাকালীন দেহের গরিষ্ঠ তাপমাত্রা নির্দেশ করে।


চিত্র 2G

সারাংশ

থার্মোমিটার—যে যন্ত্রের সাহায্যে বস্তুর উষ্ণতা মাপা যায় তাহাকে উষ্ণতা-মাপক যন্ত্র বা থার্মোমিটার বলে। থার্মোমিটার বিভিন্ন প্রকারের ; যথা—(1) লিকুইড-থার্মোমিটার, (2) গ্যাস-থার্মোমিটার, (3) তড়িৎ-পরিবাহী-রোধক (Resistance)-থার্মোমিটার ইত্যাদি।

পারদ-থার্মোমিটার—যে থার্মোমিটারে পারদ ব্যবহার করা হয় তাহাকে পারদ-থার্মোমিটার বলে। সমসূক্ষ্মছিদ্রবিশিষ্ট মোটা দেওয়ালের কাচনলের একপ্রান্তে একটি কুণ্ড প্রস্তুত করিয়া অপরপ্রান্ত দিয়া ঐ নলে পারদ প্রবেশ করাইয়া একটি পারদ-থার্মোমিটার তৈয়ারী করা হয়।

থার্মোমিটার স্কেল—প্রথমতঃ, থার্মোমিটার-নলের গায়ে দুইটি স্থিরাঙ্ক নির্দেশ করিতে হয়। এই স্থিরাঙ্ক দুইটি সাধারণতঃ ধরা হয় জলের হিমাঙ্ক (নিম্নস্থিরাঙ্ক) এবং প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনাঙ্ক (উর্ধ্বস্থিরাঙ্ক)। এই স্থিরাঙ্ক দুইটির অন্তর্বর্তী ব্যবধান

কতকগুলি সমান দূরত্বের দাগ কাটিতে হয় এবং এই দাগগুলির সমষ্টিকে থার্মোমিটার স্কেল বলে।

থার্মোমিটার সাধারণতঃ দুইপ্রকার স্কেলে নির্দেশ করা হয়; যথা—(1) সেন্টিগ্রেড এবং (2) ফারেনহাইট। সেন্টিগ্রেড স্কেলে হিমাঙ্ক 0°C এবং স্ফুটনাঙ্ক 100°C ধরা হয় এবং উহাদের মধ্যবর্তী স্থান 100টি সমান ভাগে বিভক্ত করা থাকে। ফারেনহাইট স্কেলে হিমাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক যথাক্রমে 32°F এবং 212°F ধরা হয় এবং উহাদের মধ্যবর্তী স্থান 180টি সমান ভাগে বিভক্ত করা হয়।

সেন্টিগ্রেড এবং ফারেনহাইট স্কেলের মধ্যে সম্পর্ক :

$$\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9}.$$

সিক্সের গরিষ্ঠ এবং লঘিষ্ঠ থার্মোমিটার—একপ্রকারের কোহল ফারেনহাইট থার্মোমিটার। আবহাওয়া-তত্ত্ব-অফিসে এই থার্মোমিটারের সাহায্যে কোন নির্দিষ্ট সময়ের মধ্যে সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন তাপমাত্রা নির্ণয় করা হয়।

চিকিৎসায় ব্যবহৃত পারদ-থার্মোমিটার (Clinical Thermometer)—একপ্রকারের সুগ্রাহী গরিষ্ঠ ফারেনহাইট থার্মোমিটার। মানুষের জ্বর পরীক্ষার জন্য চিকিৎসকগণ এই থার্মোমিটার ব্যবহার করেন। এই থার্মোমিটারে 95°F হইতে 110°F পর্যন্ত দাগ কাটা থাকে।

প্রশ্নমালা

1. উষ্ণতা বা তাপমাত্রা মাপিবার মূল নীতি কি? উষ্ণতা মাপের জন্য ব্যবহার্য তরল পদার্থের কি কি আবশ্যকীয় গুণাবলী থাকা প্রয়োজন তাহা লিখ। [What is the underlying principle in measuring temperature ? What are the requisities of a liquid to be used for measuring temperature ?]

2. একটি সাধারণ পারদ-থার্মোমিটারের প্রস্তুত-প্রণালী বর্ণনা কর। উহার অংশাঙ্কন কিরূপভাবে করা হয়? একটি থার্মোমিটারের নলের ছিদ্র কি সম-প্রস্থচ্ছেদের হওয়া প্রয়োজন? [Describe the construction of a mercurial thermometer. How are the scale graduations made in such a thermometer ? Is it necessary that the tube of the mercury-thermometer should be of uniform bore ?]

3. একটি সুবেদী থার্মোমিটার এবং একটি সাধারণ পারদ-থার্মোমিটারের মধ্যে গঠনপদ্ধতির পার্থক্য কি? [How does a sensitive mercury-in-glass-thermometer differ in construction from a less sensitive thermometer ?]

4. থার্মোমিটারের নিম্নস্থিরাঙ্ক এবং উর্ধ্বস্থিরাঙ্ক বলিতে কি বোঝ? এই স্থিরাঙ্ক দুইটি পরীক্ষার দ্বারা কিরূপভাবে নির্ণয় করিতে পারা যায় তাহা বিশদভাবে বর্ণনা কর। [What do you mean by lower and upper fixed points of a thermometer ? Describe how you would determine them experimentally.]

5. সেন্টিগ্রেড এবং ফারেনহাইট এই উভয় স্কেলের মধ্যে সম্পর্ক কি? এক স্কেলে সূচিত তাপমাত্রা অন্য স্কেলে কিরূপে প্রকাশ করা যায়? [Discuss the relation between Centigrade and Fahrenheit scales. Explain how the reading of one scale may be converted to the other.]

6. কোহল-থার্মোমিটার কাহাকে বলে? একটি চিত্রের সাহায্যে গরিষ্ঠ ও লঘিষ্ঠ থার্মোমিটারের গঠন এবং কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর। [What do you mean by Alcohol-thermometer ? Describe with a line-sketch a type of Maximum and Minimum Thermometer.]

7. চিকিৎসায় ব্যবহৃত থার্মোমিটারের বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখ করিয়া বর্ণনা কর। [Describe a Clinical thermometer mentioning its special features.]

8. একটি ত্রুটিপূর্ণ থার্মোমিটার গলিত বরফে 1° এবং প্রমাণ চাপের জলীয় বাষ্পে 96° তাপমাত্রা নির্দেশ করে। এই থার্মোমিটারের নলটি সমপ্রস্থচ্ছেদের এবং সমভাবে বিভক্ত। ইহার তাপমাত্রার পাঠ যখন 39° হয় তখন একটি সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটারে এই পাঠ কত হইবে তাহা নির্ণয় কর। [A faulty thermometer reads 1°C when placed in melting ice and 96° in steam at normal barometric pressure. Find the correct temperature in Centigrade when the thermometer reads 39°, the bore of the thread and graduation supposed to be uniform.] [*Ans.* 40°C]

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

কঠিন পদার্থের প্রসারণ

(Expansion of Solids)

3·1. সাধারণ আলোচনা : অধিকাংশ কঠিন পদার্থই (বরফ বাদে) তাপপ্রয়োগে উষ্ণতা-বৃদ্ধির সহিত প্রসারিত হয় এবং তাপ-অপসারণে শীতল হইয়া সঙ্কুচিত হয়। কঠিন বস্তুর এই প্রসারণ এবং সঙ্কোচন তামা, পিতল, লোহা প্রভৃতি ধাতব পদার্থের মধ্যে বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়।

আমরা জানি, সকল কঠিন পদার্থই নির্দিষ্ট আয়তন ও আকৃতি বিশিষ্ট। কাজেই তাপপ্রয়োগে উহাদের প্রসারণ তিনরকমভাবে নির্দেশিত হইতে পারে ; যথা—

(1) রৈখিক বা দৈর্ঘ্যে প্রসারণ (Linear expansion)।

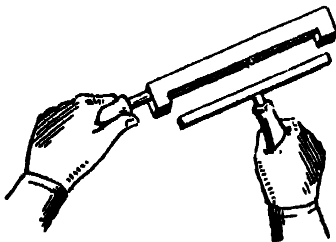
(2) পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফলের প্রসারণ (Expansion of the surface-area or superficial expansion)।

(3) আয়তনের প্রসারণ (Expansion of volume or cubical expansion)।

কঠিন পদার্থের প্রসারণ কম বলিয়া আমরা উহা খালিচোখে দেখিতে পাই না। নিম্নবর্ণিত পরীক্ষাগুলির সাহায্যে কঠিন বস্তুর উপরোক্ত তিনপ্রকারের প্রসারণ দেখানো যায়।

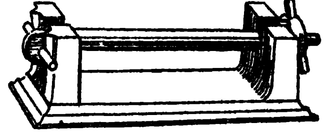
3·2. দৈর্ঘ্য-প্রসারণের বিভিন্ন পরীক্ষা (Experiments on Linear expansion) :

(১) **দণ্ড ও গেজ পরীক্ষা (Bar and Gauge experiment)**—3A চিত্রে দণ্ড ও গেজ পৃথকভাবে দেখানো হইল। চিত্রে দেখা যাইতেছে যে, কাঠের হাতলযুক্ত লৌহদণ্ডটি ডান হাতে এবং কাঠের হাতলযুক্ত ধাতব গেজটি বাম হাতে ধরিয়া রাখা হইয়াছে। পরীক্ষা-কক্ষের স্বাভাবিক উষ্ণতায় ঐ লৌহদণ্ডটি গেজের ফাঁকের মধ্যে আঁট-ভাবে বসানো যায়। কিন্তু দণ্ডটিকে উত্তপ্ত করিলে দেখা যাইবে যে, উহাকে গেজের মধ্যে আর বসানো যাইতেছে না। ইহাদ্বারা প্রমাণিত হয় যে উষ্ণতা-বৃদ্ধির সহিত লৌহ-দণ্ডটির দৈর্ঘ্যের প্রসারণ ঘটে।



চিত্র 3A

(২) **দণ্ড-ভাঙ্গার পরীক্ষা (Bar-breaking experiment)**—3B চিত্রে এই যন্ত্রটি দেখানো হইল। চিত্র অনুযায়ী আমরা দেখিতে পাই যে, এই যন্ত্রটিতে ঢালাই লোহার তৈয়ারী একটি ভারী কাঠামো আছে। উহার দুই প্রান্তে দুইটি সুদৃঢ় স্তম্ভ স্থাপিত। ঐ স্তম্ভ দুইটির উপরিভাগে V আকারের খাঁজ-কাটা থাকে। এই খাঁজের উপর সমান্তরাল-ভাবে একটি লৌহদণ্ড বসানো হয়। লৌহদণ্ডটির একদিকে হাতলসহ স্ক্রুর ব্যবস্থা আছে এবং অপরদিকে একটি ছিদ্র আছে। ঐ ছিদ্রের মধ্য দিয়া একটি ঢালাই লোহার বল্টু আড়াআড়িভাবে রাখা হয় (চিত্রের বাঁদিক দেখ)।

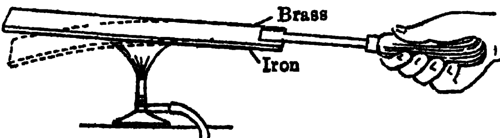


চিত্র 3B

পরীক্ষা-কক্ষের উষ্ণতায় স্ক্রুটিকে যথাসম্ভব প্যাঁচ কষিয়া দেওয়া হইল। অতঃপর ঐ দণ্ডটিকে লোহিত-তপ্ত (red hot) কর। দেখা যাইবে, দণ্ডটি পূর্বের ন্যায় আঁট অবস্থায় নাই। ইহার কারণ, উত্তাপে দণ্ডটির দৈর্ঘ্যের প্রসারণ ঘটিয়াছে। পুনরায় স্ক্রুর প্যাঁচ কষিয়া দণ্ডটিকে আঁটিয়া দাও। এখন ঐ দণ্ডটির গায়ে হঠাৎ হিমশীতল জল ঢালিয়া দিতে থাকিলে দেখা যাইবে যে, ঐ ঢালাই লোহার বল্টুটি ভাঙ্গিয়া গিয়াছে। ইহাকেই বলা হয় দণ্ড-ভাঙ্গা পরীক্ষা। বল্টুটি ভাঙ্গিবার কারণ, দণ্ডটি শীতল হওয়ায় উহার দৈর্ঘ্যের সঙ্কোচন ঘটিয়াছে এবং বল্টুটির উপরে অত্যধিক পরিমাণে পার্শ্বচাপ পড়ায় উহা ভাঙ্গিয়া গিয়াছে।

3·3. বিভিন্ন ধাতব পদার্থের দৈর্ঘ্যের প্রসারণ বিভিন্ন :

(ক) দ্বিধাতব পাতের বক্রতা পরীক্ষা (Buckling of a bimetallic strip or composite strip)—একই রকম দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও বেধবিশিষ্ট লোহার এবং পিতলের দুই-টুকরা সোজা পাত একাধিক নাচি (rivet) দ্বারা দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে এবং এই দ্বিধাতব পাতটির একপ্রান্তে একটি কাঠের হাতল লাগানো আছে (3C চিত্র)। পরীক্ষা-কক্ষের স্বাভাবিক উষ্ণতায় এই দ্বিধাতব পাতটি সোজাভাবেই থাকে; কিন্তু উহাকে বেশ কিছুক্ষণ ধরিয়া সমানভাবে উত্তাপ দিলে বাঁকিয়া যাইবে। পাত দুইটির বক্রতা লক্ষ্য করিলে দেখা যায় যে, পিতলের পাতটি বাহিরের দিকে এবং লোহার পাতটি ভিতরের দিকে আছে। আবার এই দ্বিধাতব পাতটি যখন সোজা অবস্থায় থাকে তখন উহাকে বরফের উপর রাখিয়া দিলে দেখা যায় যে, ঐ পাতটি বিপরীত দিকে বাঁকিয়া গিয়াছে। এই পরীক্ষাদ্বারা প্রমাণিত হয়

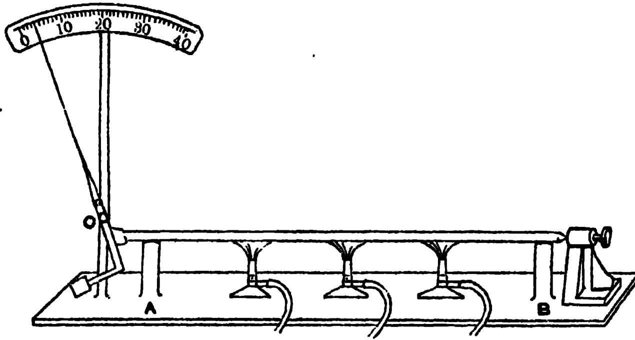


চিত্র 3C

যে, উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ অপেক্ষা অধিক এবং উষ্ণতা-হ্রাসে পিতলের দৈর্ঘ্য-সঙ্কোচন লোহার তুলনায় অধিক। যদি লোহা এবং পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ সমান হইত তাহা হইলে যে-কোন তাপমাত্রাতেই ঐ পাত দুইটি সর্বদা সোজা অবস্থায় থাকিত।

(খ) **ফার্গুসনের পরীক্ষা** (Ferguson's experiment)—ফার্গুসনের পরীক্ষা দ্বারা কোন ধাতব দণ্ডের দৈর্ঘ্যের প্রসারণ দেখানো হয় এবং সমদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট বিভিন্ন ধাতব দণ্ডের সম-উষ্ণতার বৃদ্ধিতে দৈর্ঘ্য-প্রসারণের যে তারতম্য ঘটে, তাহাও এই পরীক্ষার সাহায্যে দেখানো যায়।

3D চিত্রে ফার্গুসনের যন্ত্রটি দেখানো হইল। পরীক্ষাধীন ধাতব দণ্ডটিকে *A* এবং *B* স্তম্ভ দুইটির উপর বসাও। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায় যে, ধাতব দণ্ডের ডান প্রান্ত একটি অনুভূমিক স্ক্রু স্পর্শ করিয়া আছে। ইহার ফলে দণ্ডটি ডানদিকে প্রসারিত হইতে পারে না। দণ্ডটির অপরপ্রান্ত (অর্থাৎ বাম প্রান্ত) একটি লিভার-সমন্বিত সূচকের নীচের



চিত্র 3D

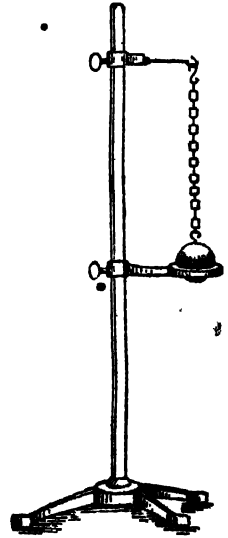
অংশ স্পর্শ করিয়া আছে এবং ঐ সূচকের অগ্রভাগ একটি বৃত্তাকার স্কেলের উপর অবাধে চলাফেরা করিতে পারে।

দণ্ডটিকে তাপপ্রয়োগের পূর্বে স্ক্রুটি এমনভাবে নিয়ন্ত্রিত কর যাহাতে দণ্ডের অপর-প্রান্ত চিত্রে দর্শিত সূচকটি স্পর্শ করিয়া থাকাকালীন উহা যেন স্কেলের শূন্য-দাগে অবস্থান করে। এই অবস্থায় দণ্ডটিকে কিছুসময় তাপ প্রদান করিলে দেখা যাইবে সূচকটি ক্রমশঃ স্কেলের *O* অবস্থান হইতে ডানদিকে চলিয়া আসিতেছে। সূচকের এইপ্রকারের চলা দণ্ডটির দৈর্ঘ্যের প্রসারণ নির্দেশ করে। এখন দণ্ডটি ক্রমশঃ শীতল হইতে দাও, দেখা যাইবে সূচকটি বিপরীত দিকে চলিয়া 0 অবস্থানের দিকে

আসিতেছে। ইহাদ্বারা প্রমাণিত হয় যে, উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে বস্তুর দৈর্ঘ্যের প্রসারণ হয় এবং উষ্ণতা-হ্রাসে দৈর্ঘ্যের সঙ্কোচন ঘটে।

অনুরূপভাবে বিভিন্ন ধাতব দণ্ডেরও দৈর্ঘ্যের প্রসারণ দেখানো হয়। বিভিন্ন ধাতব পদার্থের সম-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দণ্ডের সম-উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে দৈর্ঘ্যের বিভিন্ন প্রসারণ দেখাইতে হইলে তাপ এমনভাবে নিয়ন্ত্রিত করা প্রয়োজন, যেন প্রত্যেক দণ্ডটিই সম-উষ্ণতাপ্রাপ্ত হয়।

3·4. কঠিন পদার্থের আয়তন ও ক্ষেত্রফলের প্রসারণ: গ্র্যাভেস্যাণ্ডের বল ও আংটা পরীক্ষা (Gravensand's Ball and Ring experiment): এই পরীক্ষাদ্বারা আমরা প্রমাণ করিতে পারি যে, উষ্ণতার বৃদ্ধিতে কঠিন পদার্থের আয়তন এবং উহার পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফলের প্রসারণ হয়। 3E চিত্রে একটি বল এবং একটি আংটা দেখানো হইল। বলটি পিতলনির্মিত এবং উহা ফাঁপা। চিত্রে একটি খাড়া দণ্ডের উপরের হাতলের সহিত শিকল দ্বারা বলটি ঝুলানো অবস্থায় রহিয়াছে এবং ঐ দণ্ডটির নীচের হাতলে একটি আংটা আছে। পরীক্ষা-কক্ষের উষ্ণতায় বলটিকে আংটার উপর স্থাপন করিলে উহা ঠিক আংটার মধ্য দিয়া চলিয়া যাইবে। এখন চিমটার সাহায্যে বলটিকে বার্নারের উপর ধরিয়া উত্তপ্ত কর এবং উহা উত্তপ্ত হইলে পুনরায় আংটার উপর বসাও। দেখিতে পাইবে, বলটি এখন আর আংটার মধ্য দিয়া যাইতে পারিতেছে না, কিন্তু ঐ অবস্থায় কিছুক্ষণ রাখিলে বলটি শীতল হইয়া আংটা দিয়া পুনরায় চলিয়া যাইবে।



চিত্র 3E

ইহাদ্বারা প্রমাণিত হয় যে, উত্তাপপ্রদানে কঠিন পদার্থের আয়তনের প্রসারণ ঘটে এবং উহার পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফলেরও প্রসারণ হয়। যখন উহার উষ্ণতা কমিয়া আসে তখন উহা সঙ্কুচিত হয় এবং পুনরায় আংটার মধ্য দিয়া চলিয়া যাইতে পারে।

3·5. দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা (Definition of co-efficient of Linear expansion): **প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে কোন বস্তুর একক দৈর্ঘ্যের যে পরিমাণ প্রসারণ হয় উহাকে ঐ বস্তুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক বলে।**

সাধারণত আমরা দৈর্ঘ্যের একক ধরি 1 cm. এবং তাপমাত্রা নির্দেশ করি সেন্টিগ্রেড স্কেলে।

এই হিসাবে যদি বলি তামার দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক ·000017 তাহা হইলে বুঝিবে যে, 1 cm. দৈর্ঘ্যের একটি তামার দণ্ডের 1°C তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে উহার দৈর্ঘ্যের প্রসারণ হইবে ·000017 cm.। স্মরণ রাখিতে হইবে বস্তুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক দৈর্ঘ্যের এককের উপর নির্ভর করে না, কিন্তু থার্মোমিটারের স্কেলের উপর নির্ভর করে।

উদাহরণ হিসাবে, যদি বলা হয় যে, পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক ·0000189 তাহা হইলে বুঝিতে হইবে, একটি পিতলের দণ্ডের দৈর্ঘ্য 1 cm. কিংবা 1 ft. অথবা 1 yd. (এক গজ) যাহাই লওয়া হউক না কেন, উহার 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে দৈর্ঘ্যের প্রসারণ ·0000189 cm. কিংবা ·0000189 ft. অথবা ·0000189 yd. হইবে।

সুতরাং প্রতিক্ষেত্রেই দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক সংখ্যা হিসাবে একই থাকিতেছে।

কিন্তু যদি তাপমাত্রা ফারেনহাইট স্কেলে ধরা হয়, তাহা হইলে উপরোক্ত দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের পরিমাণ,

$\cdot 0000189 \times \frac{5}{9} = \cdot 0000105$ হইবে। [যেহেতু 1°F তাপমাত্রা-বৃদ্ধি $= \frac{5}{9}$°C তাপমাত্রা-বৃদ্ধি]

ফরমূলার সাহায্যে দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের প্রকাশ—মনে কর, কোন বস্তুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক a (এই অক্ষরটিকে 'আল্‌ফা' বলে) এবং ঐ বস্তুর তৈয়ারী একটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য l_1 যখন উহার তাপমাত্রা θ_1 (এই অক্ষরটিকে বলে 'থিটা')। আবার ঐ দণ্ডটির তাপমাত্রা বৃদ্ধি হইয়া যখন θ_2-তে পৌছায় তখন উহার দৈর্ঘ্য মনে কর l_2।

সুতরাং, $(\theta_2 - \theta_1)$ তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে দৈর্ঘ্যের মোট বিস্তার হয় $(l_2 - l_1)$;

$\therefore$ $(\theta_2 - \theta_1)$ তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে প্রতি একক দৈর্ঘ্যের বিস্তার

$$= \frac{(l_2 - l_1)}{l_1}।$$

$\therefore$ প্রতি ডিগ্রী উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে প্রতি একক দৈর্ঘ্যের বিস্তার

$$= \frac{l_2 - l_1}{l_1(\theta_2 - \theta_1)}।$$

সুতরাং, দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা হিসাবে,

দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক $a = \frac{l_2 - l_1}{l_1(\theta_2 - \theta_1)}$;

অর্থাৎ দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক $= \frac{\text{দৈর্ঘ্যের প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}$।

আবার উপরোক্ত ফরমূলা হিসাবে,

$$l_2 - l_1 = a l_1(\theta_2 - \theta_1),$$

অথবা, $$l_2 = l_1\{1 + a(\theta_2 - \theta_1)\}.$$

3·6. ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা (Definition of co-efficient of superficial expansion) : এক ডিগ্রী তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে কোন পদার্থের পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রের যে পরিমাণ বৃদ্ধি হয় উহাকে ঐ পদার্থের ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্ক বলে। সাধারণত ক্ষেত্রফলের একক 1 sq cm. ধরা হয় এবং তাপমাত্রা সেন্টিগ্রেড স্কেলে প্রকাশ করা হয়।

এই হিসাবে যদি বলা হয়, পিতলপাতের ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্ক 000038, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে 1°C তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে ঐ ধাতুর পাতের 1 sq cm ক্ষেত্রফলের প্রসারণ 000038 sq cm।

ক্ষেত্রফলের একক যাহাই ধরা হউক না কেন, ক্ষেত্রফলের প্রসারণাঙ্ক একই থাকিবে। কিন্তু তাপমাত্রার বিভিন্ন স্কেলে ঐ প্রসারণাঙ্কের পরিমাণ বিভিন্ন হইবে।

সুতরাং, যদি সেন্টিগ্রেড স্কেল অনুসারে কোন বস্তুর ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্ক 000038 হয়, তাহা হইলে ফারেনহাইট স্কেল হিসাবে উহার প্রসারণাঙ্কের পরিমাণ হইবে,

$$000038 \times \tfrac{5}{9} = 000021 \text{ (আনুমানিক)।}$$

ফরমূলার সাহায্যে ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্কের প্রকাশ—মনে কর, কোন বস্তুর ক্ষেত্রফল প্রসারণাঙ্ক 'β' (এই অক্ষরটিকে 'বিটা' বলে) এবং ঐ বস্তুর ক্ষেত্রফল S_1 যখন তাপমাত্রা θ_1 এবং ঐ ক্ষেত্রফল S_2 যখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইয়া θ_2 হয়।

সুতরাং, $(\theta_2 - \theta_1)$ তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে ক্ষেত্রফলের-প্রসারণ $(S_2 - S_1)$।

সুতরাং, $(\theta_2 - \theta_1)$ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে প্রতি এককে ক্ষেত্রফলের প্রসারণ,

$$\frac{S_2 - S_1}{S_1}.$$

প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে প্রতি একক ক্ষেত্রফলের প্রসারণ,

$$\frac{S_2 - S_1}{S_1(\theta_2 - \theta_1)}$$

এই হিসাবে ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্ক $\beta = \dfrac{S_2 - S_1}{S_1(\theta_2 - \theta_1)}$

অর্থাৎ ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্ক $= \dfrac{\text{ক্ষেত্রফলের বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক ক্ষেত্রফল} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}$।

আবার উপরের ফরমূলা হিসাবে,

$$S_2 - S_1 = \beta S_1(\theta_2 - \theta_1)$$

অথবা, $$S_2 = S_1\{1 + \beta(\theta_2 - \theta_1)\}.$$

3·7. আয়তন-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা (Definition of co-efficient of volume or cubical expansion) : প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে কোন পদার্থের একক আয়তনের যে পরিমাণ বৃদ্ধি হয় উহাকে ঐ পদার্থের আয়তন-প্রসারণাঙ্ক বলে। সাধারণত আয়তনের একক 1 c.c. ধরা হয় এবং তাপমাত্রা সেন্টিগ্রেড স্কেলে প্রকাশিত করা হয়।

এই হিসাবে যদি বলা হয় পিতলের আয়তন-প্রসারণাঙ্ক ·000057, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, 1°C তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে 1 c.c. আয়তনের একখণ্ড পিতলের প্রসারণ ·000057 c.c. হইবে।

আতনের একক যাহাই ধরা হউক না কেন, আয়তন-প্রসারণাঙ্ক একই হইবে; কিন্তু তাপমাত্রার বিভিন্ন স্কেলে আয়তন-প্রসারণাঙ্ক বিভিন্ন হইবে।

সুতরাং, যদি সেন্টিগ্রেড স্কেল অনুসারে কোন বস্তুর আয়তন-প্রসারণাঙ্ক ·000057 হয়, তাহা হইলে ফারেনহাইট স্কেল হিসাবে উহার আয়তন-প্রসারণাঙ্ক হইবে,

$$\cdot 000057 \times \tfrac{5}{9} = \cdot 000032 \text{ (আনুমানিক)}$$

ফরমুলার সাহায্যে আয়তন-প্রসারণাঙ্কের প্রকাশ—মনে কর, কোন বস্তুর আয়তন-প্রসারণাঙ্ক γ (এই অক্ষরটিকে 'গামা' বলে) এবং ঐ বস্তুর আয়তন V_1 যখন তাপমাত্রা θ_1 এবং ঐ আয়তন V_2 যখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইয়া দাঁড়ায় θ_2।

সুতরাং, সংজ্ঞা হিসাবে আয়তন-প্রসারণাঙ্ক,

$$\gamma = \frac{V_2 - V_1}{V_1(\theta_2 - \theta_1)}$$

অর্থাৎ $$\text{আয়তন-প্রসারণাঙ্ক} = \frac{\text{আয়তন-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}},$$

অথবা, $V_2 = V_1\{1 + \gamma(\theta_2 - \theta_1)\}$.

3·8. কঠিন পদার্থের α, β এবং γ এই তিন প্রকারের প্রসারণাঙ্কের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক (Relation between α, β and γ in the case of solid) :

(ক) α এবং β-র মধ্যে সম্পর্ক—একটি চতুষ্কোণ (square) ধাতব পাত কল্পনা কর। উহার দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থ উভয়ই 1 cm. ধরা হইল। সুতরাং, উহার ক্ষেত্রফল

$$= 1 \text{ cm.} \times 1 \text{ cm.} = 1 \text{ sq. cm.}$$

এখন, দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা হিসাবে ঐ পাতটির 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে দৈর্ঘ্য

এবং প্রস্থ উভয়ই $(1+a)$ cm. হইবে। সুতরাং, পাতটির 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে ক্ষেত্রফল হইবে,

$$\begin{aligned}&(1+a)(1+a)\\&=(1+a)^2\\&=1+2a+a^2\\&=1+2a\end{aligned}$$

[a^2 এর মান খুবই নগণ্য বলিয়া বর্জন করা হইল।]

অতএব, ঐ একক ক্ষেত্রফল (1 sq. cm.)-বিশিষ্ট পাতের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে ক্ষেত্রফল-প্রসারণ হইল,

$$\begin{aligned}&1+2a-1\\&=2a.\end{aligned}$$

সুতরাং, ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা হিসাবে, ঐ বর্ধিত ক্ষেত্রফল $2a$ এক্ষেত্রে ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্ক নির্দেশ করে।

অর্থাৎ $\beta=2a.$

(খ) **a এবং γ-র মধ্যে সম্পর্ক**—পুনরায় মনে কর, একটি কঠিন পদার্থের ঘনকের দৈর্ঘ্য = 1 cm., প্রস্থ = 1 cm. এবং উচ্চতা = 1 cm. ধরা হইল। কাজেই ঐ ঘনকটি একক আয়তনবিশিষ্ট। অর্থাৎ 1 cm. × 1 cm. × 1 cm. = 1 c.c. (এক ঘন সেন্টিমিটার)।

এখন দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা অনুসারে ঐ ঘনকটির 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা প্রত্যেকটিই ($1+a$) cm. হইবে। সুতরাং, 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে ঐ ঘনকটির আয়তন হইবে,

$$\begin{aligned}&(1+a)(1+a)(1+a)\\&=(1+a)^3\\&=1+3a+3a^2+a^3\\&=1+3a\end{aligned}$$

[a^2 এবং a^3 এর মান নগণ্য বলিয়া বর্জন করা হইল।]

অতএব, ঐ একক ঘনকটির 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে আয়তন-প্রসারণ হইল,

$$\begin{aligned}&1+3a-1\\&=3a.\end{aligned}$$

সুতরাং, আয়তন-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা অনুসারে এই বর্ধিত আয়তন $3a$ এক্ষেত্রে পদার্থের আয়তন-প্রসারণাঙ্ক নির্দেশ করে।

অর্থাৎ $\gamma=3a.$

অতএব, কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে, ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্ক দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের দ্বিগুণ এবং আয়তন-প্রসারণাঙ্ক দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের তিনগুণ।

3·9. কঠিন পদার্থের ঘনত্ব ও আয়তন-প্রসারণাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক (Relation between density and co-efficient of cubical expansion)ঃ মনে কর, যখন তাপমাত্রা θ_1 তখন একটি কঠিন বস্তুর ভর 'M', উহার আয়তন 'V_1', এবং ঘনত্ব 'D_1'। আবার তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইয়া যখন θ_2 হয়, তখন মনে কর, ঐ বস্তুর আয়তন 'V_2' এবং ঘনত্ব 'D_2'।

আমরা জানি বস্তুর ভর অপরিবর্তনীয় এবং বস্তুর ভর উহার আয়তন এবং ঘনত্বের গুণফল।

সুতরাং, $M = V_1 D_1 = V_2 D_2$.

$\therefore \quad V_2 D_2 = V_1 D_1$

অথবা, $\dfrac{D_2}{D_1} = \dfrac{V_1}{V_2} = \dfrac{V_1}{V_1\{1+\gamma(\theta_2-\theta_1)\}}$ ('γ' আয়তন-প্রসারণাঙ্ক)

$$= \frac{1}{1+\gamma(\theta_2-\theta_1)} = 1-\gamma(\theta_2-\theta_1)$$

['γ'-র মান নগণ্য বলিয়া $\dfrac{1}{1+\gamma(\theta_2-\theta_1)} = 1-\gamma(\theta_2-\theta_1)$ লিখা চলে।]

সুতরাং, $\dfrac{D_2}{D_1} = 1-\gamma(\theta_2-\theta_1)$

অথবা, $\dfrac{D_2-D_1}{D_1} = -\gamma(\theta_2-\theta_1)$

অথবা, $\dfrac{D_1-D_2}{D_1} = \gamma(\theta_2-\theta_1)$.

সুতরাং, $\gamma = \dfrac{D_1-D}{D_1(\theta_2-\theta_1)} = \dfrac{\text{ঘনত্বের হ্রাস}}{\text{প্রাথমিক ঘনত্ব} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$

আবার যেহেতু $\dfrac{D_2}{D_1} = 1-\gamma(\theta_2-\theta_1)$

সুতরাং, $D_2 = D_1\{1-\gamma(\theta_2-\theta_1)\}$.

মনে রাখিতে হইবে, কঠিন পদার্থের আয়তন-প্রসারণাঙ্ক এবং ঘনত্বের মধ্যে উপরোক্ত যে সম্পর্ক নির্দেশিত হইল, তরলের ক্ষেত্রেও অনুরূপ সম্পর্ক বজায় থাকে। কাজেই তরল পদার্থের আয়তন-প্রসারণাঙ্ক এবং ঘনত্বের মধ্যে সম্পর্ক পৃথকভাবে আর আলোচনা করা হইবে না।

3·10. বিভিন্ন কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের তালিকা :

পদার্থ	প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড	প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইট	পদার্থ	প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড	প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইট
অ্যালুমিনিয়াম (Aluminium)	·000022	·000012	ইস্পাত (Steel)	·000011	·0000061
পিতল (Brass)	·000019	·000011	সীসা (Lead)	·000029	·000016
তামা (Copper)	·000017	·0000094	নিকেল (Nickel)	·000013	·0000072
কনস্ট্যানটান (Constantan)	·000017	·0000094	প্লাটিনাম (Platinum)	·0000089	·0000049
লোহা (Iron)	·000012	·0000067	ইনভার (Inver) [নিকেল ও ইস্পাতের সংকর ধাতু]	·0000009	·0000005
দস্তা (Zinc)	·000028	·000015	কাচ (Glass)	·0000085	·0000047

উদাহরণ। (1) 0°C. তাপমাত্রায় একটি তামার দণ্ডের দৈর্ঘ্য 2 মিটার। 200°C তাপমাত্রায় উহাকে উত্তপ্ত করিলে উহার দৈর্ঘ্য কত হইবে? আবার কত তাপমাত্রায় ইহার দৈর্ঘ্য 200·51 cms. হইবে? তামার দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক ·000017। [A copper rod, the length of which at 0°C is 2 metres, is heated to 200°C. What will be the length now ? At what temperature will its length be 200·51 cms. ? (Co-efficient of linear expansion for copper = ·000017)]

প্রথম ক্ষেত্রে $l_1 = 2$ metres $= 200$ cms. ;

$$\theta_1 = 0°C\ ;\ \theta_2 = 200°C.$$

আমরা জানি $l_2 = l_1\{1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)\}$.

সুতরাং, $l_2 = 200\{1 + ·000017(200 - 0)\}$

$$= 200\{1 + ·0034\}$$

$$= 200·68 \text{ cms.}$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে মনে কর, যে তাপমাত্রা নির্ণয় করিতে হইবে উহা θ_2,

সুতরাং, $l_1 = 200$ cms. ; $l_2 = 200{\cdot}51$ cms. ; $\theta_1 = 0°C$; $\theta_2 = ?$

আমরা জানি $l_2 = l_1\{1 + a(\theta_2 - \theta_1)\}$.

$\therefore \quad 200{\cdot}51 = 200\{1 + {\cdot}000017(\theta_2 - 0)\}$

$= 200\{1 + {\cdot}000017\theta_2\}$

$200 + {\cdot}0034\theta_2$.

$\therefore \quad {\cdot}0034\theta_2 = {\cdot}51$,

অথবা, $\theta_2 = 150°C$.

(2) দূরত্ব মাপিবার ইস্পাতের একটি স্কেল 15°C-এ নির্ভুল। ঐ স্কেল দ্বারা 30°C তাপমাত্রায় দূরত্ব মাপিয়া দেখা গেল উহা 2000 ft.। মাপে কত ভুল আছে তাহা নির্ণয় কর। (ইস্পাতের দৈর্ঘ্য-প্রসারাণাঙ্ক = ·000011)। [A scale used for measuring distance is of steel and is correct at 15°C. A certain distance measured with this scale at 30°C is found to be 2000 ft. Find the error in the measurement (Co-efficient of linear expansion of steel = ·000011)]

যেহেতু 15°C তাপমাত্রায় স্কেলটি নির্ভুল,

সুতরাং, 15°C তাপমাত্রায় স্কেলটির 1 ft. দাগ নির্ভুল।

∴ 30°C তাপমাত্রায় স্কেলের 1 ft. দাগ প্রসারিত হইয়া

$\{1 + {\cdot}000011(30 - 15)\}$ ft. হইবে ;

অথবা, $(1 + {\cdot}000011 \times 15)$ ft. হইবে।

∴ 30°C তাপমাত্রায় স্কেল দ্বারা নির্দেশিত 2000 ft. দৈর্ঘ্যের পরিমাণ

$= 2000 \times (1 + {\cdot}000011 \times 15)$ ft.

$= 2000{\cdot}33$ ft.

সুতরাং মাপের ভুলের পরিমাণ = (2000·33 – 2000) ft. = ·33 ft.

(3) রেল-লাইন বসাইবার সময় প্রসারণের জন্য কিছুটা অংশ খালি রাখা হইল। যদি 10°C তাপমাত্রায় 66 ft. দীর্ঘ ইস্পাতের লাইনের মধ্যে 0·5 ইঞ্চি ফাঁক রাখা হয়, তবে কত তাপমাত্রায় লাইনগুলি পরস্পরকে স্পর্শ করিবে ? (ইস্পাতের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক $= 11 \times 10^{-6}/°C$) [Railway lines are laid with gaps to allow for expansion. If the gap between steel lines 66 ft. long is 0·5 inch at 10°C, at what temperature will the lines just touch ? (Co-efficient of linear expansion of steel $= 11 \times 10^{-6}/°C$)]

আমরা জানি, $\alpha = \dfrac{\text{দৈর্ঘ্যের প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}$।

যে তাপমাত্রায় লাইনগুলি পরস্পরকে স্পর্শ করিবে উহাকে θ ধরা হইল।

এস্থলে, 66 ft. রেল-লাইনের প্রসারণ = ·5 ইঞ্চি = $\dfrac{\cdot 5}{12}$ ft. ;

প্রাথমিক দৈর্ঘ্য = 66 ft. ; $\alpha = 11 \times 10^{-6}$.

$$\therefore \quad 11 \times 10^{-6} = \frac{\frac{\cdot 5}{12}}{66 \times (\theta - 10)},$$

অথবা, $$\theta - 10 = \frac{\cdot 5 \times 10^6}{12 \times 66 \times 11} = 57{\cdot}3.$$

$$\therefore \quad \theta = 67^\circ{\cdot}3\text{C (আনুমানিক)।}$$

(4) A এবং B দুইটি ধাতব দণ্ড। যে-কোন তাপমাত্রা-পরিবর্তনেই উহাদের দৈর্ঘ্যের পার্থক্য সবসময়ই 25 cms. থাকিবে। যদি A এবং B-এর দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক যথাক্রমে ·0000128 এবং ·0000192 হয়, তাহা হইলে ঐ দণ্ড দুইটির 0°C-এ কত দৈর্ঘ্য হইবে তাহা নির্ণয় কর। [A and B are two metal bars. They differ in length by 25 cms. whatever be the change in temperature. If co-efficient of linear expansion of A and B are ·0000128 and ·0000192 respectively, calculate the lengths of A and B at 0°C.]

মনে কর, A দণ্ডটির দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক α_1 = ·0000128 এবং B দণ্ডটির দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক α_2 = ·0000192।

মনে কর, 0° তাপমাত্রায় A দণ্ডটির দৈর্ঘ্য l, তাহা হইলে ঐ একই তাপমাত্রায় B দণ্ডটির দৈর্ঘ্য = $l - 25$ cms. (∵ B দণ্ডটির প্রসারণাঙ্ক A দণ্ডটি অপেক্ষা অধিক)

আমরা জানি, $\alpha = \dfrac{\text{দৈর্ঘ্যের প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$।

সুতরাং, $$\alpha_1 = \frac{A \text{ দণ্ডটির দৈর্ঘ্যের প্রসারণ}}{A \text{ দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}};$$

$$\alpha_2 = \frac{B \text{ দণ্ডের দৈর্ঘ্যের প্রসারণ}}{B \text{ দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}।$$

প্রদত্ত প্রশ্ন অনুসারে সম-উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে দুইটি দণ্ডেরই দৈর্ঘ্য-প্রসারণ সমান থাকিবে ; নতুবা যে-কোন তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে ঐ দণ্ড দুইটির দৈর্ঘ্যের পার্থক্য একই থাকিতে পারে না।

সুতরাং, $\frac{a_1}{a_2} = \frac{B \text{ দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}}{A \text{ দণ্ডের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}}$

$= \frac{l - 25}{l}$, (এক্ষেত্রে 0°C তাপমাত্রার দৈর্ঘ্য প্রাথমিক দৈর্ঘ্য ধরা হইল।)

সুতরাং, $\frac{\cdot 0000128}{\cdot 0000192} = \frac{l-25}{l}$,

অথবা, $\frac{2}{3} = \frac{l-25}{l}$,

অথবা, $3l - 75 = 2l$,

অথবা, $l = 75$.

সুতরাং, A দণ্ডের দৈর্ঘ্য 75 cm. হইলে, B দণ্ডের দৈর্ঘ্য $75 - 25 = 50$ cm.

(5) 0°C তাপমাত্রায় একটি লৌহ-ঘনকের প্রত্যেক পৃষ্ঠের দৈর্ঘ্য 10 cm. হইলে, 100°C তাপমাত্রায় ঐ ঘনকটির প্রত্যেক পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল এবং উহার আয়তন কত হইবে ? ($a = \cdot 000012$ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে) [An iron cube has each edge 10 cm. long at 0°C. What will be the area of each face and its volume at 100°C. (Given $a = \cdot 000012$)]

এক্ষেত্রে, $\beta = 2a = \cdot 000024$;
$\gamma = 3a = \cdot 000036$.

মনে কর, 0°C তাপমাত্রায় প্রতি পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল S_1 ;
100° সেন্টিগ্রেডে প্রতি পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল S_2।

মনে কর, 0°C তাপমাত্রায় ঘনকটির আয়তন V_1 ;
100°C তাপমাত্রায় ঘনকটির আয়তন V_2।

এক্ষেত্রে $\theta_1 = 0°C$; $\theta = 100°C$;

$S_1 = 10 \times 10 = 100$ sq. cm. ;

$V_1 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$ c.c.

আমরা জানি, $S_2 = S_1\{1 + \beta(\theta_2 - \theta_1)\}$.

সুতরাং, $S_2 = 100\{1 + \cdot 000024 \times 100\}$
$= 100 + \cdot 24$
$= 100 \cdot 24$ sq. cm.

পুনরায় আমরা জানি, $V_2 = V_1\{1 + \gamma(\theta_2 - \theta_1)\}$
$= 1000 \times \{1 + \cdot 000036 \times 100\}$
$= 1000 + 3 \cdot 6$
$= 1003 \cdot 6$ c.c.

(6) 0° সেন্টিগ্রেডে পিতলের ঘনত্ব 8·6 gm. per c.c. ; 100°C তাপমাত্রায় ঐ পদার্থের ঘনত্ব নির্ণয় কর। (দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক = ·000019) [Density of brass is 8·6 gm. per c.c. at 0°C. Calculate its density at 100°C. (α = ·000019)]

এক্ষেত্রে, $\gamma = 3\alpha = 3 \times {\cdot}000019$

$= {\cdot}000057.$

মনে কর, 0° সেন্টিগ্রেডে ঘনত্ব D_1 ;

100° সেন্টিগ্রেডে ঘনত্ব D_2 ।

এক্ষেত্রে, $\theta_1 = 0$;

$\theta_2 = 100.$

আমরা জানি, $D_2 = \dfrac{D_1}{1 + \gamma(\theta_2 - \theta_1)}.$

সুতরাং, $D_2 = \dfrac{8{\cdot}6}{1 + {\cdot}000057 \times 100}$

$= 8{\cdot}6(1 - {\cdot}0057)$

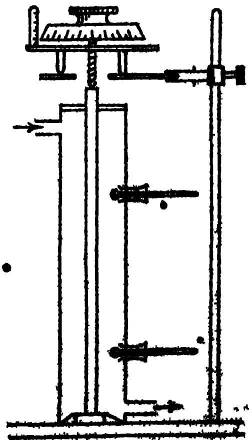
$= 8{\cdot}6 - 8{\cdot}6 \times {\cdot}0057$

$= 8{\cdot}6 - {\cdot}049$

$= 8{\cdot}551$ gms./c.c.

3·11. পুলিঞ্জার যন্ত্রের (Pullinger's apparatus) সাহায্যে কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয় :

যন্ত্রের বর্ণনা—3F চিত্রে ফেল্ট-জড়িত একটি পিতলের চোঙ বা জ্যাকেট (jacket) দেখানো হইল। উহার নীচের প্রান্তে একখণ্ড কাচ বা মার্বেল-প্লেট বসানো এবং উপরের প্রান্ত ছিপি-লাগানো। পরীক্ষাধীন ধাতব দণ্ডটি ঐ জ্যাকেটের মধ্যে খাড়াভাবে রাখা হয়। ঐ দণ্ডের নীচের প্রান্ত মার্বেল-প্লেটের উপর বসানো এবং উহার উপরের প্রান্ত ছিপির মধ্যের ছিদ্র দিয়া বাহির হইয়া থাকে।



চিত্র 3F

জ্যাকেটের মধ্যে বাষ্প প্রবেশ এবং নির্গমনের জন্য উপরে ও নীচে দুইটি নল সংযুক্ত আছে। এই নল দুইটির মধ্যবর্তী স্থানে আরও দুইটি নল বসানো থাকে এবং উহাদের ছিদ্রপথ দিয়া থার্মোমিটার প্রবেশ করাইয়া পরীক্ষাধীন দণ্ডটির তাপমাত্রা নির্দেশ করা হয়। ধাতব দণ্ডের অল্প উপরে একটি ছিদ্রযুক্ত কাচের প্লেট অ্যালুমিনিয়-

ভাবে রক্ষিত আছে। ঐ প্লেটের উপরে একটি স্ফেরোমিটার (Spherometer) এমনভাবে বসানো যাহাতে উহার মধ্যের পায়ের অগ্রভাগ দণ্ডটির উপরের প্রান্ত স্পর্শ করিতে পারে (3F চিত্র দেখ)।

কার্যপদ্ধতি—মনে কর, পরীক্ষাধীন দণ্ডটির দৈর্ঘ্য l_1 cm. এবং ঘরের উষ্ণতা θ_1°C। চিত্রানুযায়ী স্ফেরোমিটারটি বসাইয়া উহার মধ্যের পা দণ্ডটির শীর্ষ স্পর্শ করাও। এই অবস্থায় স্ফেরোমিটারের পাঠ লও। মনে কর, এই পাঠ d_1 cm.। অতঃপর স্ফেরোমিটারের স্ক্রুটিকে উল্টাদিকে ঘুরাইয়া মধ্যের পা উপরের দিকে উঠাইয়া লও এবং জ্যাকেটের মধ্যে বাষ্প চালনা কর। থার্মোমিটার দুইটির পাঠ স্থির হইলে পুনরায় স্ফেরোমিটারের স্ক্রু ঘুরাইয়া উহার মধ্যের পা দণ্ডের শীর্ষ স্পর্শ করাও এবং স্ফেরোমিটারের পুনরায় পাঠ লও। মনে কর, এই পাঠ d_2 cm. এবং থার্মোমিটারের পাঠ θ_2°C।

গণনা (Calculation)ঃ মনে কর, দণ্ডটির মোট প্রসারণ x,

সুতরাং, $x=(d_2-d_1)$, দণ্ডটির প্রাথমিক দৈর্ঘ্য l_1, মোট উষ্ণতা-বৃদ্ধি $(\theta_2-\theta_1)$।

কাজেই দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা হিসাবে,

$$a=\frac{x}{l_1(\theta_2-\theta_1)}=\frac{d_2-d_1}{l_1(\theta_2-\theta_1)}.$$

উদাহরণ। মনে কর, উপরোক্ত Pullinger's apparatus পরীক্ষায় প্রাপ্ত পাঠসমূহ,

$$d_1=\cdot025 \text{ cm.}$$
$$d_2=\cdot151 \text{ cm.}$$
$$\theta_1=29\cdot5°C$$
$$\theta_2=99\cdot5°C$$
$$l_1=99\cdot5 \text{ cm.}$$

এক্ষেত্রে $x=d_2-d_1=\cdot151-\cdot025$

$=\cdot126$ cm. ;

$(\theta_2-\theta_1)=99\cdot5-29\cdot5=70°C.$

সুতরাং, $=\frac{x}{l_1(\theta_2-\theta_1)}=\frac{\cdot126}{99\cdot5\times70}=\cdot000018.$

3·12. কঠিন বস্তুর প্রসারণের প্রত্যক্ষ ফলসমূহ (Practical consequences of expansion of solid)ঃ কঠিন বস্তুর প্রসারণ অসুবিধা এবং সুবিধা উভয়বিধ ফল সূচিত করে। নিম্নে এইরূপ কতিপয় সুবিধা ও অসুবিধার দৃষ্টান্ত উল্লেখ করা হইল।

(ক) অসুবিধা (Disadvantages): (1) ধাতব স্কেলের সংশোধন—দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য কোন ধাতুনির্মিত স্কেল ব্যবহার করিবার সময় বিশেষভাবে লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, ঐ স্কেলটি কত ডিগ্রী তাপমাত্রায় অংশাঙ্কিত হইয়াছিল এবং কত ডিগ্রী তাপমাত্রায় উহা ব্যবহৃত হইতেছে। কারণ উষ্ণতার পরিবর্তনের সহিত ধাতব স্কেলের অংশাঙ্কনগুলির দৈর্ঘ্যেরও পরিবর্তন ঘটে। কাজেই যে-কোন তাপমাত্রায়ই ঐ স্কেল দ্বারা দৈর্ঘ্য নির্ভুলভাবে পাঠ করা যায় না; উহার সংশোধন করিতে হয়। একারণে বায়ুর চাপ যথাযথ নির্ণয়ের জন্য ব্যারোমিটারের স্কেল-সংশোধন প্রয়োজন। (বিষয়টি সহজবোধ্য করিবার জন্য বর্তমান পরিচ্ছেদের ২নং কষা অঙ্কটি দেখ।)

(2) কাচের গ্লাস-ফাটা—একটি পুরু কাচের গ্লাসের মধ্যে গরম জল ঢালিলে অনেকসময় গ্লাসটিকে ফাটিয়া যাইতে দেখা যায়। কাচ তাপের সুপরিবাহী নহে। ফলে পাত্রটির ভিতরের দিকটা উত্তপ্ত হইয়া প্রসারিত হয়, কিন্তু বাহিরের পিঠ অপেক্ষাকৃত শীতল থাকায় তেমনভাবে প্রসারিত হইতে পারে না। এই অসমান প্রসারণের জন্য যে বলের উদ্ভব হয় উহাতেই গ্লাসটি ফাটিয়া যায়।

পাত্রটি যদি পাতলা কাচ দ্বারা প্রস্তুত হয়, তাহা হইলে উহার মধ্যে গরম জল ঢালিলে ফাটিয়া যাওয়ার সম্ভাবনা কম থাকে।

(3) ধাতব তার ও কাচের কুণ্ডের জোড়ামুখ ফাটিয়া যাওয়া—একটি কাচের ফাঁপা কুণ্ডের কোন একস্থান গলাইয়া লোহা কিংবা তামার তার সংযুক্ত করিলে দেখা যায়, উহার উষ্ণতা কমিয়া আসিলে জোড়ামুখটি ফাটিয়া গিয়াছে। কিন্তু অনুরূপভাবে একটি প্লাটিনামের তার জোড়া দিলে সংযোগস্থল অটুট থাকে। ইহার কারণ, লোহা এবং তামার দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক কাচের তুলনায় অনেক বেশী। ফলে উষ্ণতা-হ্রাসে তামা কিংবা লোহার তারের সঙ্কোচন কাচ অপেক্ষা অনেক বেশী হয়। এই অসমান সঙ্কোচনের ফলে সংযোগস্থল ফাটিয়া যায়। কিন্তু প্লাটিনাম এবং কাচের প্রসারণাঙ্ক তেমন বিভিন্ন না হওয়ায় কাচ এবং প্লাটিনামের সঙ্কোচন উল্লেখযোগ্য অসমান হয় না। ফলে সংযোগস্থল অটুট থাকে।

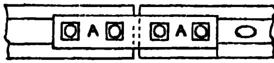
(4) চুল্লীর লৌহদণ্ডগুলির দৃঢ়ভাবে স্থাপনের অপকারিতা—ইষ্টকনির্মিত চুল্লীর মধ্যে যে লৌহদণ্ডগুলি (Iron gratings) থাকে উহাদের দুই প্রান্ত গাঁথনির সঙ্গে দৃঢ়সংবদ্ধ করা উচিত নহে। অন্ততঃ একপ্রান্ত অবশ্যই আল্‌গা রাখিতে হইবে। নতুবা উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে লৌহদণ্ডগুলির প্রসারণ-জনিত বলবৃদ্ধিতে চুল্লীটি ফাটিয়া যাইবে। চুল্লীর গাঁথনি যদি অত্যধিক দৃঢ় হয় তবে দণ্ডগুলি প্রসারণে বাধা পাইয়া বাঁকিয়া যায়।

অনুরূপভাবে দালানের ছাদে যে লোহার বীম এবং বর্গা ব্যবহৃত হয় উহাদের সঙ্কোচন এবং প্রসারণের সুবিধার জন্য প্রান্তগুলি দেওয়ালের মধ্যে কিছুটা অংশ

উন্মুক্ত রাখা হয়। সুতরাং প্রসারণে এবং সঙ্কোচনে দেওয়ালের কোনরূপ ক্ষতি হয় না।

বর্তমানে ঢালাই ছাদের প্রবর্তনে ঐপ্রকারের কোন অসুবিধার সম্ভাবনা নাই। কারণ কংক্রীট এবং উহার অভ্যন্তরস্থিত লৌহশলাকাগুলির প্রসারণাঙ্ক মোটামুটিভাবে সমান।

(5) রেললাইন-স্থাপনে সতর্কতা : রেললাইন ইস্পাত দ্বারা তৈয়ারী। কাজেই উহার উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে দৈর্ঘ্যের প্রসারণ হয়; উষ্ণতা-হ্রাসে উহার সঙ্কোচন ঘটে। যদি রেললাইন বসাইবার সময় রেলের টুকরাগুলির মধ্যে কোনরূপ ফাঁক না রাখা হয় তবে উষ্ণতা-বৃদ্ধির ফলে লাইনগুলি বাঁকিয়া প্রভূত ক্ষতিসাধন করে।

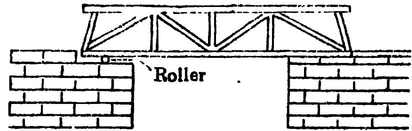


চিত্র 3G

ইহার প্রতিবিধানকল্পে দুইটুকরা রেলের প্রান্তের মধ্যে কিছু ফাঁক রাখিয়া উহাকে 'ফিস্-প্লেট' দ্বারা সংযুক্ত করা হয় (3G চিত্রে দেখ)।

এই প্রসঙ্গে উল্লেখযোগ্য, ট্রামলাইন পাতিবার সময় অনুরূপ ফাঁক রাখা প্রয়োজন হয় না। কারণ, লাইনের অধিকাংশ কংক্রীটের মধ্যে বসানো থাকায় উষ্ণতা-পরিবর্তনে রেলের টুকরাগুলির দৈর্ঘ্যের বিশেষ পরিবর্তন ঘটে না।

(6) লোহার সেতু-নির্মাণে সতর্কতা—লোহার সেতু-নির্মাণকালে উহার প্রান্তগুলি ইটের গাঁথনির মধ্যে দৃঢ়সংবদ্ধ রাখা হয় না। বস্তুতঃ অনেকসময় সেতুটির একপ্রান্ত লোহার রোলারের (roller) উপর রক্ষিত হয় (3H চিত্রে দেখ)। ইহাতে সেতুটির প্রসারণ এবং সঙ্কোচনের কোনরূপ ব্যাঘাত হয় না। যদি সেতুর প্রান্তগুলি দৃঢ়ভাবে সংবদ্ধ থাকিত তাহা হইলে প্রসারণ এবং সঙ্কোচন-জনিত বল-উদ্ভবে গাঁথনি ফাটিয়া সেতুটির প্রভূত অনিষ্টসাধন হইত।



চিত্র 3H

(খ) প্রসারণ এবং সঙ্কোচনের সুবিধা (Advantages of expansion and contraction)—উষ্ণতা-বৃদ্ধি এবং হ্রাসের ফলে ধাতব পদার্থের প্রসারণ এবং সঙ্কোচন সবসময়ই অসুবিধা ঘটায় না। কোন কোন ক্ষেত্রে এই প্রসারণ এবং সঙ্কোচন সুবিধাজনকভাবে কাজে লাগানো সম্ভব হয়। নিম্নলিখিত উদাহরণগুলি দ্বারা ইহা বুঝানো হইল।

(1) গরুর গাড়ীর চাকায় লোহার বেড়-পরানোর কৌশল—গরুর

গাড়ীর কাঠের চাকা যাহাতে নষ্ট না হইয়া যায় সেইজন্য গাড়ীর চাকায় লোহার বেড় পরানো হয়। এই লোহার বেড়টির পরিধি সাধারণ উষ্ণতায় গরুর গাড়ীর চাকার পরিধি অপেক্ষা কিছুটা কম রাখা হয়। কাঠের চাকার গায়ে লোহার বেড়টি লাগাইতে হইলে প্রথমে লোহার বেড়টিকে আগুনে অত্যন্ত উত্তপ্ত করিতে হয়। ইহাতে বেড়ের পরিধির বৃদ্ধি হয় এবং সহজে উহা চাকায় পরানো যায়। অতঃপর জল ছিটাইয়া ঐ বেড়টিকে ঠাণ্ডা করিলে দেখা যায় উহা সঙ্কুচিত হইয়া চাকার সহিত দৃঢ়ভাবে আঁটিয়া গিয়াছে। এক্ষেত্রে প্রসারণ এবং সঙ্কোচন উভয়ই সুবিধাজনকভাবে কাজে লাগানো হইয়াছে।

(2) নাচি দ্বারা ধাতব পাতের সংযোজন (Joining of metallic sheets with rivets)—অনেক সময় দুইটি ধাতব পাত নাচি দ্বারা সংযোজিত করা হয়। এইপ্রকারের সংযোজন ইঞ্জিনের স্টীম-বয়লার, ভূগর্ভস্থ পয়ঃপ্রণালী ইত্যাদিতে বিশেষভাবে ব্যবহৃত হইতে দেখা যায়।

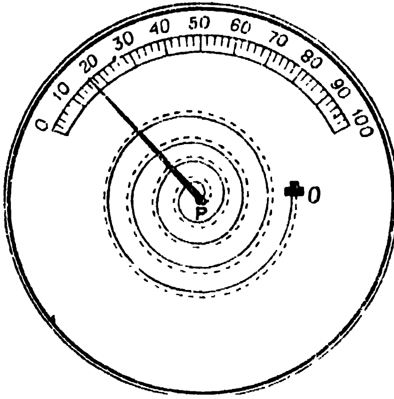
ধাতব পাত দুইটির একটির প্রান্ত অপরটির উপরে রাখিয়া বিভিন্ন স্থানে ছিদ্র করিতে হইবে। ঐ ছিদ্রপথে নাচিগুলিকে প্রায় শ্বেত-তপ্ত করিয়া প্রবেশ করানো হয়। অতঃপর উহার দুইদিকে বেশ করিয়া হাতুড়ি দ্বারা পিটিয়া এরূপ চেপ্টা করিতে হয় যাহাতে পাতের সঙ্গে নাচিগুলির মুখ মিলিয়া যায়। ঐ নাচিগুলি যখন শীতল হয় তখন উহা সঙ্কুচিত হইয়া পাত দুইটিকে শক্ত করিয়া আঁটিয়া ধরে। এক্ষেত্রে উষ্ণতা-হ্রাসের ফলে সঙ্কোচন জোড়া দেওয়ার কাজে প্রয়োগ করা হইয়াছে।

(3) হেলানো দেওয়াল রক্ষার পদ্ধতি—যেসকল দালানের দেওয়াল বাহিরের দিকে ঝুঁকিয়া পড়ে, লৌহদণ্ডের প্রসারণ এবং সঙ্কোচনকে কার্যে প্রয়োগ করিয়া ঐ দেওয়াল রক্ষা করা সম্ভব হয়। হেলানো দেওয়াল এবং উহার বিপরীত দিকের দেওয়ালের গায়ে একাধিক স্থানে সমসূত্রে ছিদ্র করিয়া ঐ ছিদ্রগুলির মধ্য দিয়া লোহার দণ্ড প্রবেশ করানো হয়। এই দণ্ডগুলির দুইদিকেই ফিস্-প্লেট এবং স্ক্রু-নাট (screw-nut) শক্তভাবে আঁটা থাকে। অতঃপর ঐ দণ্ডগুলিকে উত্তমরূপে উত্তপ্ত করিয়া নাটগুলিকে আরও দৃঢ়ভাবে আঁটিয়া দেওয়া হয়। দণ্ডগুলি শীতল হইলে যে সঙ্কোচন-জনিত বলের উদ্ভব হয় উহাই হেলানো দেওয়ালটিকে ভিতরের দিকে টানিয়া রাখে।

(4) কাচের শিশির মুখে আঁটানো ছিপিখোলা—কাচের শিশির ছিপি শিশির মুখে দৃঢ়ভাবে আঁটিয়া গেলে খুব সহজ পন্থায় এই ছিপি খোলা সম্ভব হয়। শিশিটির মুখ উষ্ণ করিলে উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে শিশির মুখ প্রসারিত হয়। কিন্তু কাচ তাপের সুপরিবাহী নয় বলিয়া শিশির মুখের ছিপিটি সঙ্গে সঙ্গে উত্তপ্ত হইতে পারে না। ফলে ছিপিটিকে শিশির মুখ হইতে টান দিয়া সহজেই খুলিয়া আনা যায়।

(5) অগ্নিসঙ্কেত যন্ত্র (Fire-alarm)—সাধারণত এই যন্ত্র মালগুদামে ব্যবহৃত হয়। গুদামঘরে আগুন লাগিলে উহার উত্তাপে তামা এবং লোহার তৈয়ারী দ্বি-ধাতব পাতটি ভিতরের দিকে বাঁকিয়া একটি তড়িৎ-বর্তনী (Electrical circuit) সম্পূর্ণ করে। উহার ফলে বাহিরের বৈদ্যুতিক ঘণ্টাটি বাজিয়া উঠিয়া বিপদের সঙ্কেত নির্দেশ করে। এক্ষেত্রে দুইটি ধাতুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের বিভিন্নতা সুবিধাজনকভাবে কাজে লাগানো হয়।

(6) দ্বি-ধাতব থার্মোমিটার (Bimetallic thermometer)—31 চিত্রে দ্বি-ধাতব থার্মোমিটারের একটি নকশা দেখানো হইল। এইরূপ থার্মোমিটারে একটি দ্বি-ধাতব পাত কুণ্ডলী পাকানো থাকে। উহার বাহিরের পাতটি সাধারণত পিতলের এবং ভিতরের পাত ইস্পাতের তৈয়ারী। কুণ্ডলীটির বাহিরের প্রান্ত '*O*' সুদৃঢ়ভাবে আঁটা আছে এবং ভিতরের প্রান্ত '*P*' একটি সূচকের সহিত সংলগ্ন এবং ঐ সূচকটি সেন্টিগ্রেডে অংশাঙ্কিত একটি স্কেলের উপর ঘোরাফেরা করিতে পারে। উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে কুণ্ডলীটি ভিতরের দিকে সঙ্কুচিত হয় এবং উহার ফলে সূচকটি স্কেলের উপরে ডানদিকে সরিয়া যায়। আবার উষ্ণতা-হ্রাসে কুণ্ডলীটির ভিতরদিকের সঙ্কোচন কমিয়া আসার ফলে সূচকটি বাঁ-দিকে সরিয়া আসে।



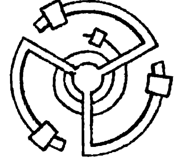
চিত্র 31

এক্ষেত্রে দুইটি বিভিন্ন ধাতুর প্রসারণাঙ্কের বিভিন্নতার সুযোগ এই যন্ত্রে কার্যতঃ প্রয়োগ করা হইয়াছে।

(7) কব্জি-ঘড়ি এবং অন্যান্য ছোট ঘড়ির সময়-নিয়ামক চক্র (Balance-wheel of wrist and other watches)—ছোট ঘড়ির কাঁটার গতি উহার নিয়ামক-চক্রের দোলন দ্বারা নিয়ন্ত্রিত। ঐ চক্রের দোলনকাল উহার পরিধির উপর নির্ভর করে। যদি চক্রটি একই ধাতুর তৈয়ারী হয়, তাহা হইলে গ্রীষ্মের উষ্ণতায় উহার ব্যাসার্ধ এবং সেই সঙ্গে পরিধির প্রসারণে দোলনকালের বৃদ্ধি হইবে এবং ঘড়ি 'স্লো' যাইবে। আবার শীতের দিনে উষ্ণতা-হ্রাসে চক্রের পরিধি এবং ঐ সঙ্গে ব্যাসার্ধের সঙ্কোচনে উহার দোলনকাল কমিয়া যাইবে এবং ঘড়িটি দ্রুত চলিবে।

উপরোক্ত অসুবিধা দূর করিবার জন্য চক্রটি এইরূপভাবে প্রতিবিহিত করা হয় যাহাতে উষ্ণতা-বৃদ্ধি কিংবা উষ্ণতা-হ্রাসে ঘড়িটি 'স্লো' কিংবা 'ফাস্ট' যাইবে না।

3J চিত্রে একটি প্রতিবিহিত চক্রের নমুনা দেখানো হইল। চিত্রে চক্রটির পরিধি তিনভাগে বিভক্ত এবং প্রতিটি অংশ দ্বি-ধাতব পাত (ভিতরে ইস্পাত এবং বাহিরে পিতল) দ্বারা নির্মিত। এই অংশ তিনটির প্রত্যেকটির একপ্রান্ত ধাতব শলাকার সাহায্যে ঘূর্ণন অক্ষের সহিত সংযোজিত এবং অপর উন্মুক্ত প্রান্ত ভারী স্ক্রু-যুক্ত থাকে (3J চিত্র দেখ)।



চিত্র 3J

তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে শলাকা তিনটি প্রসারিত হয়; সুতরাং, ভারী স্ক্রু তিনটি ঘূর্ণন অক্ষ হইতে দূরে সরিয়া যাইয়া ঘূর্ণনকাল বৃদ্ধি করিতে চায়। কিন্তু চাকার অংশগুলি দ্বি-ধাতব পাত দ্বারা তৈয়ারী হওয়ায় উহারা বাঁকিয়া অক্ষের দিকে আসে। কাজেই চক্রের পরিধির পরিবর্তন হয় না।

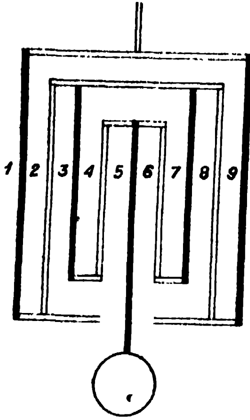
অনুরূপভাবে উষ্ণতা-হ্রাসে পেন্ডের প্রতিটি অংশ বিপরীত দিকে বাঁকিয়া যাওয়ায় (curve outward) পরিধি একই থাকিয়া যায়। সুতরাং উষ্ণতা-হ্রাসে এবং বৃদ্ধিতে চক্রের দোলনকালের পরিবর্তন ঘটে না।

এক্ষেত্রে উষ্ণতার পরিবর্তনে দুইটি ধাতুর বিভিন্ন প্রসারণাঙ্কের সুবিধা কার্যে প্রয়োগ করা হইয়াছে।

3·13. দেওয়াল-ঘড়ি অথবা বড় ঘড়ির দোলকের প্রতিবিহিত ব্যবস্থা (Compensated pendulum) : সাধারণ দেওয়াল-ঘড়িতে ইস্পাতের দোলকদণ্ড ব্যবহৃত হয়। ইহার অসুবিধা হইল এই যে, দোলকটির কার্যকারী দৈর্ঘ্য সব ঋতুতে সমান থাকে না। গ্রীষ্মকালে ঐ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায়, এবং দোলনকাল বৃদ্ধি পায়। ফলে ঘড়ির কাঁটা মন্দগতিতে চলে অর্থাৎ ঘড়ি 'স্লো' (Slow) যায়। আবার শীতকালে ঐ দৈর্ঘ্যের সঙ্কোচন হওয়ায় দোলকটির দোলনকাল কমিয়া যায়। ফলে ঘড়ির কাঁটা দ্রুতগতিতে চলে অর্থাৎ ঘড়ি ফাস্ট (Fast) যায়। অবশ্য ঘড়ি যাহাতে সব ঋতুতে ঠিকভাবে চলে সেইজন্য অনেকসময় দোলকপিণ্ডটিকে স্ক্রুর সাহায্যে উঠাইয়া এবং নামাইয়া সম্ভবমত সময় নিয়ন্ত্রিত করা হয়। কিন্তু এই ব্যবস্থা আদৌ সন্তোষজনক নহে। একারণে দোলকের প্রতিবিহিত ব্যবস্থা স্বয়ংক্রিয় করা হইয়া থাকে। হ্যারিসনের Grid-iron দোলক এইরূপ একটি স্বয়ংক্রিয় প্রতিবিহিত ব্যবস্থার উদাহরণ। নিম্নে উহা বর্ণিত হইল।

হ্যারিসনের Grid-Iron প্রতিবিহিত দোলক (Harrison's grid-iron pendulum)—3K চিত্রে হ্যারিসনের grid-iron প্রতিবিহিত দোলক রেখা-অঙ্কনে

দেখানো হইল। দোলকটির কাঠামোতে নয়টি দণ্ড দেখানো হইয়াছে। মধ্যের ইস্পাতের দণ্ডের সহিত দোলকপিণ্ডটি সংযুক্ত আছে।



চিত্র 3K

1, 3, 5, 7 এবং 9 চিহ্নিত দণ্ডগুলি ইস্পাতের এবং 2, 4, 6 এবং 8 চিহ্নিত দণ্ডগুলি পিতলের তৈয়ারী। মধ্যের দণ্ডটির দুইপার্শ্বে অপর দণ্ডগুলি সমভাবে সন্নিবেশিত আছে। উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে লোহার দণ্ডগুলি নীচের দিকে এবং পিতলের দণ্ডগুলি উপরের দিকে প্রসারিত হইতে পারে।

চিত্র অনুযায়ী দেখা যায়, 1 এবং 9 চিহ্নিত লৌহ-দণ্ড দুইটি সমান দৈর্ঘ্যের এবং 3 ও 7 চিহ্নিত লৌহ-দণ্ড দুইটি সমদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট। সুতরাং, উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে এই দুইজোড়া দণ্ডের কার্যকারী প্রসারণ 1 এবং 3 চিহ্নিত দণ্ডের প্রসারণের সহিত সমান। আবার 2, 8 এবং 4, 6 এই দুইজোড়া দণ্ডের কার্যকারী প্রসারণ 2 এবং 4 চিহ্নিত দণ্ড দুইটির প্রসারণের সহিত সমান।

এখন মনে কর, 1, 3 এবং 5 চিহ্নিত লৌহদণ্ড তিনটির দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_1, l_3 এবং l_5 এবং 2, 4 চিহ্নিত দণ্ড দুইটির দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_2 এবং l_4 দ্বারা নির্দেশিত। মনে কর, a_1 এবং a_2 যথাক্রমে লৌহ এবং পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক। সুতরাং, θ°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে লৌহদণ্ড তিনটির নিম্নদিকে সামগ্রিক প্রসারণ $(l_1+l_3+l_5).a_1\theta$ এবং ঐ তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে l_2 এবং l_4 পিতলের এই দণ্ড দুইটির ঊর্ধ্বদিকে সামগ্রিক প্রসারণ $(l_2+l_4)a_2\theta$।

সুতরাং, দোলকটি যখন প্রতিবিহিত হয়, অর্থাৎ উহার কার্যকারী দৈর্ঘ্য যখন অপরিবর্তিত থাকে, অর্থাৎ দোলকটির ঝুলনবিন্দু (point of suspension) এবং দোলন-কেন্দ্রের (centre of oscillation) মধ্যে দূরত্ব যখন অপরিবর্তিত থাকে তখন উপরোক্ত দুই প্রসারণ সমান হয়। সুতরাং, $(l_1+l_3+l_5)\,a_1.\theta=(l_2+l_4)\,a_2.\theta$;

অথবা, $$\frac{l_1+l_3+l_5}{l_2+l_4}=\frac{a_2}{a_1}.$$

যদি $l_1=l_3=l_5$ হয় এবং $l_2=l_4$ হয়, তাহা হইলে $\frac{3l_1}{2l_2}=\frac{a_2}{a_1}$ হইবে।

অনুরূপভাবে সঙ্কোচনের ক্ষেত্রেও একই নীতি অনুসৃত হইয়া থাকে। কাজেই দোলকটির কার্যকারী দৈর্ঘ্যের কোন পরিবর্তন ঘটিবে না।

স্মরণ রাখিবে যে, আজকাল অনেক ক্ষেত্রে দেওয়াল-ঘড়ির দোলকদণ্ডে 'ইনভার'

নামক সঙ্কর ধাতু (alloy of steel and nickel) ব্যবহৃত হয়। ঐ ধাতুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক একরূপ নগণ্য। কাজেই উষ্ণতা-বৃদ্ধি অথবা হ্রাসে দোলকের কার্যকারী দৈর্ঘ্যের বিশেষ পরিবর্তন ঘটে না। সুতরাং দোলকটিকে প্রতিবিহিত করার প্রয়োজন হয় না।

উদাহরণ। একটি Grid-iron-এর প্রতিবিহিত দোলক 5টি সমান দৈর্ঘ্যের লৌহ-দণ্ড এবং 4টি সমান দৈর্ঘ্যের পিতলের দণ্ডের তৈয়ারী। যদি প্রতিটি লৌহদণ্ডের দৈর্ঘ্য 100 cm. হয়, তাহা হইলে পিতলের প্রতিটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য কত নির্ণয় কর। (লৌহের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক = ·000012 এবং পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক = ·000019)। [A grid-iron compensated pendulum has 5 iron rods each of length 100 cm. and 4 brass rods of equal lengths. Calculate the length of each brass rod. (Given co-efficient of linear expansion of iron ·000012 and that of brass ·000019)]

মনে কর, l_1 প্রতিটি লৌহদণ্ডের দৈর্ঘ্য এবং l_2 প্রতিটি পিতলের দণ্ডের দৈর্ঘ্য ; a_1 লৌহের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক এবং a_2 পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক।

সুতরাং, $\frac{3 \times l_1}{2 \times l_2} = \frac{a_2}{a_1}$।

এক্ষেত্রে, $l_1 = 100$ cm., $a_1 = ·000012$, $a_3 = ·000019$;

অতএব, $\frac{3 \times 100}{2 \times l_2} = \frac{·000019}{·000012}$,

অথবা, $l_2 = \frac{3 \times 100 \times ·000012}{2 \times ·000019}$

$= \frac{1800}{19} = 94·7$ cm.

সুতরাং, পিতলের প্রতিটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য $= 94·7$ cm.

সারাংশ

উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে কঠিন পদার্থের তিনরকম প্রসারণ হইতে পারে ; যথা—(1) দৈর্ঘ্যের প্রসারণ, (2) ক্ষেত্রফলের প্রসারণ এবং (3) আয়তনের প্রসারণ।

কঠিন বস্তুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ দণ্ড ও গেজ ইত্যাদি পরীক্ষার সাহায্যে দেখানো হইয়া থাকে। তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে বিভিন্ন পদার্থের যে প্রসারণ বিভিন্ন হয় তাহা দ্বি-ধাতব পাতের বক্রতা ইত্যাদি পরীক্ষার দ্বারা দেখানো হয়।

উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে কঠিন পদার্থের আয়তন এবং ক্ষেত্রফলের যে প্রসারণ ঘটে তাহা বল ও আংটা পরীক্ষার সাহায্যে দেখানো হয়।

দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের (a) সংজ্ঞা—প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে কোন বস্তুর একক দৈর্ঘ্যের যে পরিমাণ প্রসারণ হয় উহাকে ঐ বস্তুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক বলে। ফরমূলায় দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক—

$$``a" = \frac{l_2 - l_1}{l_1(\theta_2 - \theta_1)} = \frac{\text{দৈর্ঘ্যের বিস্তার}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}\text{।}$$

ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্কের (β) সংজ্ঞা—প্রতি এক ডিগ্রী তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে কোন পদার্থের পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফলে যে পরিমাণ বৃদ্ধি হয় উহাকে ঐ পদার্থের ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্ক বলে।

ফরমূলায় ক্ষেত্রফল-প্রসারণাঙ্ক, $``\beta" = \frac{S_2 - S_1}{S_1(\theta_2 - \theta_1)}$

$$= \frac{\text{ক্ষেত্রফলের বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক ক্ষেত্রফল} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}\text{।}$$

আয়তন-প্রসারণাঙ্কের (γ) সংজ্ঞা—প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে কোন পদার্থের একক আয়তনের যে পরিমাণ বৃদ্ধি হয় উহাকে ঐ পদার্থের আয়তন-প্রসারণাঙ্ক বলে।

ফরমূলায় আয়তন-প্রসারণাঙ্ক, $``\gamma" = \frac{V_2 - V_1}{V_1(\theta_2 - \theta_1)}$

$$= \frac{\text{আয়তন-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}\text{।}$$

কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে, $\beta = 2a$ এবং $\gamma = 3a$।

কঠিন পদার্থের ঘনত্ব এবং আয়তন-প্রসারণাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক—

কঠিন বস্তুর আয়তন-প্রসারণাঙ্ক $``\gamma" = \frac{D_1 - D_2}{D_1(\theta_2 - \theta_1)}$

$$= \frac{\text{ঘনত্বের হ্রাস}}{\text{প্রাথমিক ঘনত্ব} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}\text{।}$$

Pullinger যন্ত্রের সাহায্যে কঠিন বস্তুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয় করা হয়।

দেওয়াল-ঘড়ির দোলকের প্রতিবিহিত ব্যবস্থা—যে ব্যবস্থার ফলে দেওয়াল-ঘড়ির দোলকের কার্যকারী দৈর্ঘ্য সকল ঋতুতে অপরিবর্তিত থাকিয়া সঠিকভাবে সময় দিতে পারে তাহাকে বলা হয় দোলকের প্রতিবিহিত ব্যবস্থা। হ্যারিসনের Grid-iron দোলক একটি প্রতিবিহিত দোলকের উদাহরণ।

প্রশ্নমালা

1. পরীক্ষাদ্বারা নির্ণয় কর যে, বিভিন্ন পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ বিভিন্ন। [Describe suitable experiments to demonstrate that different materials have different linear expansions.]

2. প্রায় সকল কঠিন পদার্থই উত্তাপ দিলে প্রসারিত হয় ; কতক ক্ষেত্রে এই প্রসারণ প্রয়োজনীয় কাজে ব্যবহৃত হয় এবং অনেক ক্ষেত্রে ক্ষতিকারক প্রতিপন্ন হয়। উদাহরণসহ এইরূপ প্রতিটি ঘটনার বিবরণ দাও। [Most solids expand when heated ; in some cases expansion can be made to serve useful purposes, while in others, it is nuisance for which allowance has to be made. Give examples of each case.]

3. কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা দাও। [Define co-efficient of linear expansion of a solid.]

'লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক ·000012 প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে'—এই উক্তিটির ব্যাখ্যা কর। [Explain the meaning of the statement that the co-efficient of linear expansion of iron is ·000012 per °C.]

4. দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা দাও। (ক) সেন্টিমিটার অথবা ইঞ্চি প্রভৃতি দৈর্ঘ্যের এককের উপর ইহার মান কি নির্ভরশীল ? (খ) ইহার মান কি বিভিন্ন তাপমাত্রার স্কেলের (সেন্টিগ্রেড কিংবা ফারেনহাইট) উপর নির্ভরশীল ? [Define co-efficient of linear expansion. Does its value depend on (a) unit of length used, inch or centimetre ? (b) the kind of thermometer used, Fahrenheit or Centigrade ? Explain your answer.]

5. নিম্নে বর্ণিত বিষয়গুলির ব্যাখ্যা কর :

(ক) রেললাইন বসানোর সময় দুইটি রেললাইনের জোড়ামুখে ফাঁক রাখা হয় কেন ?

(খ) একটি পুরু কাচের গ্লাসের মধ্যে গরম জল ঢালিলে উহা ফাটিয়া যায় কেন ?

(গ) কাচনলের সঙ্গে তামার তার অপেক্ষা প্লাটিনামের তার লাগানো সহজসাধ্য কেন ?

[Explain the following :

(i) Why is a small gap left between two successive rails while laying the railway lines ?

(ii) Why does a thick-walled glass tumbler crack when hot water is poured into it ?

(iii) Why is it easier to fuse a platinum wire into glass tu than a copper wire ?]

6. প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা নির্ধারণ করিয়া কোন নির্দিষ্ট পদার্থের দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল

এবং আয়তন-প্রসারণাঙ্কের মধ্যে পারস্পারিক সম্পর্ক নির্ণয় কর। [Define co-efficient of expansion and find out the simple but approximate relation between linear, superficial and cubical expansion of a given material.]

7. কঠিন পদার্থের আয়তন-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। দৈর্ঘ্যের একক সেন্টিমিটার অথবা ফুট ধরা হইলে আয়তন-প্রসারণাঙ্কের কি কোন পরিবর্তন হয়? [Define co-efficient of cubical expansion of a solid. Does it differ when lengths are measured in centimetre or foot ?]

8. গ্রীষ্মকালের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা 45°C এবং শীতকালের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা − 15°C যদি ধরিয়া লওয়া হয়, তাহা হইলে যে লৌহ-সেতুটির দুইটি পিলারের মধ্যে বিস্তার 1700 ft., উহার প্রসারণের জন্য কতটা ফাঁক রাখিতে হইবে? [Assuming that the highest summer temperature is 45°C and the lowest winter temperature is − 15°C, what allowance must be made for expansion in one of the 1700 ft. span of a bridge ? (The bridge is made of steel whose co-efficient of linear expansion is ·000012.)]

[*Ans.* 14·69 inches]

9. 15°C উষ্ণতায় একটি লোহার বেড়ের ব্যাস যদি 99·8 cm. হয়, তাহা হইলে কত উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিলে ইহাকে 100 cm. ব্যাসবিশিষ্ট চাকায় পরানো সম্ভব হইবে? (লোহার $a = 1 \cdot 2 \times 10^{-5}$) [An iron tyre has a diameter of 99·8 cm. at 15°C. To what temperature must it be raised to enable it to put on a wheel 100 cm. in diameter ? (a for iron $= 1 \cdot 2 \times 10^{-5}$ per °C)]

[*Ans.* 167°C]

10. 0°C তাপমাত্রায় যে পিতলের স্কেলটি নির্ভুল, উহা যদি ব্যারোমিটারের উচ্চতা 76·4 cm. নির্দেশ করে এবং পাঠগ্রহণকালে যদি তাপমাত্রা 30°C হয়, তাহা হইলে পারদস্তম্ভের প্রকৃত উচ্চতা কত হইবে? (পিতলের $a = \cdot 000019$) [The height of a barometer appears to be 76·4 cm. according to a brass scale which is correct at 0°C. If the temperature at the time of reading is 30°C, what is the actual height of the mercury column ? (a for brass $= \cdot 000019$)]

[*Ans.* 76·443 cm.]

11. কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয়ের যে-কোন একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর। [Describe any method for determining the co-efficient of linear expansion of a solid.]

12. উষ্ণতার তারতম্যের জন্য দেওয়াল-ঘড়ি কিরূপে প্রতিবিহিত করা হয়? [How are the clocks compensated for variations of temperature ?]

[All. U. 1932]

13. যদি 35°F তাপমাত্রায় রেললাইন বসানো হয় তবে 120°F তাপমাত্রায় 39 ft. রেল-টুকরা পরবর্তী টুকরা হইতে কতটা পরিমাণ ফাঁক রাখিলে উহারা পরস্পরকে ঠিক স্পর্শ করিবে ? (ইস্পাতের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক $= 12 \times 10^{-6}$ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড) [If steel railroad rails are laid when the temperature is 35°F, how much gap must be left between each standard 39 ft. rail section and the next if the rails should just touch when the temperature rises to 120°F ? (Co-efficient of linear expansion of steel is 12×10^{-6} per degree Centigrade.)] [C. U. 1956]

[*Ans.* ·0221 ft.]

14. দিল্লী এবং এলাহাবাদের মধ্যে দূরত্ব 390 মাইল। রেললাইন বসাইবার সময় আগাগোড়া মোট কতটা ফাঁক রাখা প্রয়োজন যাহাতে শীতকালীন তাপমাত্রা 36°F হইতে বর্ধিত হইয়া গ্রীষ্মকালে 117°F-এ পৌঁছাইলেও প্রসারণের ফলে রেললাইনে দৈর্ঘ্য 390 মাইলের অধিক হইবে না। (লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক = ·000012/°C) [The distance between Allahabad and Delhi is 390 miles. Find the total space that must be left between the rails to allow for change of temperature from 36°F in winter to 117°F in summer. (Co-efficient of linear expansion of iron is ·000012/°C)]

[*Ans.* ·211 মাইল (আনুমানিক)]

15. একটি লোহার এবং একটি দস্তার দণ্ড এরূপভাবে সংযোজিত করা হইল যে, একটি যখন উপরের দিকে প্রসারিত হয় অপরটির প্রসারণ তখন নীচের দিকে। উহাদের 50°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিলে দেখা গেল উভয়ের প্রসারণ সমান। উহাদের গোড়ার দৈর্ঘ্যের অনুপাত নির্ণয় কর। (লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক ·000012 এবং দস্তার দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক ·000028) [A rod of iron and a rod of zinc are connected in such a way that while one expands upwards, the other expands downwards. They are heated through 50°C and are found to expand equally. Find the ratio of their original lengths. ('a' for zinc = ·000028 and for iron = ·000012]

[*Ans.* 7 : 3]

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

তরল পদার্থের প্রসারণ

(Expansion of liquid)

4·1. সাধারণ আলোচনা : কঠিন বস্তু নির্দিষ্ট আকার এবং আয়তনবিশিষ্ট। কাজেই উষ্ণতা বৃদ্ধিতে উহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ, ক্ষেত্রফল-প্রসারণ এবং আয়তন-প্রসারণ সুনির্দিষ্টভাবে নির্ণয় করা সম্ভব। কিন্তু তরল পদার্থের ক্ষেত্রে আমরা শুধু উহার আয়তনের প্রসারণ নির্ধারণ করিতে পারি। কারণ তরল পদার্থ নির্দিষ্ট আয়তনবিশিষ্ট কিন্তু উহার নিজস্ব কোন আকার নাই। উহাকে যখন যে পাত্রে রাখা হয় সেই পাত্রেরই আকার ধারণ করে এবং ফলে ইহার কোন নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য এবং ক্ষেত্রফল থাকে না। সুতরাং তরল পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ ও ক্ষেত্রফল-প্রসারণ নির্ণয় করা সম্ভব নহে।

উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে তরল পদার্থের আয়তন-প্রসারণ যথাযথভাবে নির্ধারণ করাও কিছুটা জটিল, কারণ যে পাত্রে তরল পদার্থ রাখা হয়, উষ্ণতা-পরিবর্তনে ঐ পাত্রেরও আয়তনের পরিবর্তন ঘটে। কাজেই পাত্রস্থ তরল পদার্থের উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে আমরা যে পরিমাণ আয়তনের বৃদ্ধি লক্ষ্য করিয়া থাকি উহা তরলের যথার্থ বা প্রকৃত প্রসারণ নহে। কারণ উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে পাত্রটির আয়তনেরও প্রসারণ হয়। এইজন্য আমরা তরল পদার্থের প্রসারণ দুই প্রকারের নির্দেশ করি। যথা :—

(1) আপাত প্রসারণ ;

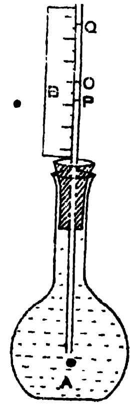
(2) প্রকৃত প্রসারণ।

4·2 আপাত প্রসারণ এবং প্রকৃত প্রসারণের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক :

(ক) **আপাত প্রসারণ (Apparent expansion)**—উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে তরল পদার্থের আয়তন-প্রসারণকালে পাত্রটিরও কিয়ৎপরিমাণে আয়তনের প্রসারণ ঘটে। কিন্তু পাত্রের প্রসারণ বিবেচনা না করিয়া আমরা বাহ্যত তরলের যে প্রসারণ দেখিতে পাই, উহাকেই তরল পদার্থের আপাত প্রসারণ বলিয়া থাকি। যদিও তরল পদার্থ নির্দিষ্ট আয়তনবিশিষ্ট, তথাপি তরলের এই আপাত প্রসারণ বিভিন্ন পদার্থের তৈয়ারী [illegible] বিভিন্ন হইবে।

(খ) **প্রকৃত প্রসারণ (Real expansion)**—তরল পদার্থের আপাত প্রসারণ এবং উষ্ণতা-বৃদ্ধি-জনিত পাত্রের যে প্রসারণ ঘটে, এই দুইপ্রকারের প্রসারণ বিবেচনা করিয়া যে পরিমাণ প্রসারণ নির্ণীত হয়, উহাকেই তরল পদার্থের **যথার্থ** বা **প্রকৃত প্রসারণ** বলা হয়। কাজেই দেখা যায় **তরল পদার্থের প্রকৃত প্রসারণ উহার আপাত প্রসারণ এবং পাত্রের প্রসারণ উভয়ের সমষ্টিগত ফল।** নিম্নলিখিত পরীক্ষাটি তরল পদার্থের আপাত এবং প্রকৃত প্রসারণ এবং উহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক সুস্পষ্টভাবে নির্দেশ করে।

পরীক্ষা ঃ 4A চিত্রে ছিপিবন্ধ কাচের ফ্লাস্কে[illegible] (Glass-flask) মধ্যে সমব্যাস-বিশিষ্ট একটি সরু কাচের নল প্রবেশ করানো আছে। নলটির গায়ে B একটি অংশাঙ্কিত স্কেল। রঙীন জল দ্বারা ফ্লাস্ক এবং নলের O দাগ পর্যন্ত পরিপূর্ণ থাকে। ফ্লাস্কটিকে এখন একটি গরম জলের পাত্রের মধ্যে ডুবাইয়া ধরিলে দেখা যাইবে যে, নলের মধ্যে জলের তল O হইতে P দাগে সাময়িকভাবে নামিয়া গিয়াছে। এইরূপ অবস্থায় ফ্লাস্কটিকে কিছুক্ষণ গরম জলের পাত্রের মধ্যে রাখিয়া দিলে দেখা যাইবে নলের মধ্যে জলের তল ক্রমশঃ P হইতে উপরদিকে উঠিয়া অবশেষে Q পর্যন্ত আসিয়া স্থির হয়।



চিত্র 4A

জলের তল হঠাৎ নামিয়া যাওয়া [illegible] করে, ফ্লাস্কটি গরম জলের প্রত্যক্ষ সংস্পর্শে আসিয়া আয়ত[illegible] বৃদ্ধি পায়, কিন্তু কাচ তাপ-সুপরিবাহী নয় বলিয়া পাত্রস্থ জ[illegible] তখনই উত্তপ্ত হয় না। অতঃপর ঐ জল যখন ক্রমশঃ উষ্ণ হইতে থাকে তখন উহার আয়তন বৃদ্ধি পাইয়া নলটির মধ্যের জলের তল ক্রমাগত P হইতে উপরের দিকে উঠিতে থাকে। শেষপর্যন্ত ঐ জল যখন পাত্রের তাপমাত্রায় আসে তখন, মনে কর, উহা Q দাগে আসিয়া স্থির হয়।

এক্ষেত্রে নলের OP অংশ [illegible]ত্রের প্রসারণ, PQ অংশ তরলের প্রকৃত প্রসারণ এবং OQ অংশ আপাত প্র[illegible] নির্দেশ করে। উপরোক্ত এই তিনপ্রকারে[illegible] প্রসারণের পারস্পরিক সম্পর্ক নিম্নে দেখানো হইল।

মনে কর, নলের ছিদ্রের প্রস্থচ্ছেদ A,

সুতরাং, পাত্রের আয়তন-প্রসারণ $\rightarrow P$[illegible]

তরল পদা[illegible] আপাত প্রস[illegible] $OQ \times A$,

[illegible] পদার্থের প্রকৃত প্রসারণ $\rightarrow PQ \times A$.

এখন চিত্র অনুযায়ী দেখা যায়,

$$PQ = PO + OQ.$$

সুতরাং, $PQ \times A = PO \times A + OQ \times A.$

অতএব, তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ

= পাত্রের আয়তন-প্রসারণ + তরলের আপাত প্রসারণ।

4·3. তরল পদার্থের প্রকৃত এবং আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক (Co-efficient of real and apparent expansion in volume of a liquid) :

প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা—প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে কোন তরলের একক আয়তনের যে পরিমাণ আয়তন বৃদ্ধি হয় উহা নির্দেশ করে ঐ তরলের প্রকৃত প্রসারণাঙ্ক।

আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা—প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে কোন পাত্রস্থ তরলের একক আয়তনের দৃশ্যত যে পরিমাণ আয়তন বৃদ্ধি হয় উহা নির্দেশ করে ঐ তরলের আপাত প্রসারণাঙ্ক। (দৃশ্যত আয়তন-বৃদ্ধি বলিতে বুঝিতে হইবে তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে কোন পাত্রের নিজের আয়তনের যেন কোন পরিবর্তন হয় নাই।)

ফরমুলায় (Formula) প্রকৃত প্রসারণাঙ্ক এবং আপাত প্রসারণাঙ্ক প্রকাশ—কঠিন এবং তরলের ক্ষেত্রে কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ পদার্থের প্রাথমিক আয়তন 0° ডিগ্রীতে নির্দেশ না করিলেও চলে।

প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্কের প্রকাশ—মনে কর, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তরলের প্রাথমিক (initial) আয়তন V_1 যখন তাপমাত্রা θ_1°C এবং উহার চরম (final) আয়তন V_2 যখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইয়া দাঁড়ায় θ_2°C। এক্ষেত্রে, তাপমাত্রা-বৃদ্ধি $(\theta_2 - \theta_1)$ এবং আয়তন-বৃদ্ধি $(V_2 - V_1)$। অতএব, $(\theta_2 - \theta_1)$ তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে একক আয়তনের বৃদ্ধি $= \frac{V_2 - V_1}{V_1}$। সুতরাং, প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে একক আয়তনের বৃদ্ধি $= \frac{V_2 - V_1}{V_1(\theta_2 - \theta_1)}$। যদি প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক ধরা হয় γ (গামা), তাহা হইলে সংজ্ঞা হিসাবে, $\gamma = \frac{V_2 - V_1}{V_1(\theta_1 - \theta_1)}$

$$= \frac{\text{মোট আয়তন-প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}।$$

এই সমীকরণ হইতে [illegible]

[illegible] অথবা $= V_1\{1 + \gamma(\theta_2 - \theta_1)\}.$

[illegible] পাত্রে [illegible] আয়তন-প্রসারণাঙ্কের প্রকাশ—মনে কর, কোন পাত্রের তরলের

প্রাথমিক (initial) আয়তন V_1 যখন উহার তাপমাত্রা $\theta°_1$C, এবং পাত্রের যেন আয়তন-পরিবর্তন হয় না এই হিসাবে, পাত্রস্থ ঐ তরলের চরম (final) আয়তন V'_2 যখন উহার তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইয়া দাঁড়ায় θ_2°C। এক্ষেত্রে, $(\theta_2 - \theta_1)$ ডিগ্রী উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে ঐ তরলের আপাত প্রসারণ $(V'_2 - V_1)$।

স্থতরাং, আপাত প্রসারণাঙ্ক $\gamma' = \frac{(V'_2 - V_1)}{V_1(\theta_2 - \theta_1)}$

$$= \frac{\text{আপাত [illegible]ারণের পরিমাণ}}{\text{প্রাথমিক [illegible]তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}।$$

এই সমীকরণ হিসাবে,

$$V'_2 = V_1\{1 + \gamma'(\theta_2 - \theta_1)\}.$$

দ্রষ্টব্য: তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসার[illegible]ঙ্কের ক্ষেত্রে যদি তাপমাত্রার স্কেল অপরিবর্তিত রাখা হয়, তাহা হইলে আয়তনে[illegible] একক যাহাই ধরা হউক না কেন, আয়তন-প্রসারণাঙ্কের মান একই থাকিবে। [illegible]ন্তু বিভিন্ন তাপমাত্রার স্কেলে ঐ প্রসারণাঙ্কের মান বিভিন্ন হইবে।

উদাহরণ হিসাবে, যদি ধরা হয়, সেন্টিগ্রেড স্কেলে পারদের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক ·00018, তাহা হইলে ফারেনহাইট স্কেলে উহার মান = ·00018 × $\frac{5}{9}$ = ·0001 (যেহেতু ফারেনহাইট স্কেলের এক ঘর = [illegible]টগ্রেড স্কেলের $\frac{5}{9}$ ঘর)।

4·4. প্রকৃত প্রসারণা[illegible] (γ) এবং আপাত প্রসারণাঙ্ক (γ')-এর মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক: তরল পদার্থের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক এবং আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্কের মধ্যে যে সম্পর্ক তাহা নিম্নলিখিত-ভাবে নির্ণয় করিতে পারা যায়। 4·2 অনুচ্ছেদের বর্ণিত পরীক্ষায় যে ফ্লাস্কটি (4A চিত্র) ব্যবহার করা হইয়াছে, মনে কর উহার আয়তন পরীক্ষাগারের উষ্ণতায় V, স্থতরাং, পাত্রস্থ তরলের আয়তনও ঐ উষ্ণতা[illegible]।

মনে কর, যে উষ্ণ জলের [illegible]ত্রে ঐ ফ্লাস্কটি বসানো হইয়াছিল উহার তাপমা[illegible] ঘরের তাপমাত্রা হইতে θ°C বেশী।

এক্ষেত্রে জলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক (γ)

$$= \frac{\text{[illegible] জলের প্র[illegible]সারণ}}{\text{জলের প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$$

$$= \frac{PQ \times A}{V \times \theta}$$ (4A চিত্র দেখ)।

আবার জলের আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক (γ')

$$= \frac{\text{জলের আপাত প্রসারণ}}{\text{জলের প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$$

$$= \frac{OQ \times A}{V \times \theta} \text{ (4A চিত্র দেখ)।}$$

এবং পাত্রের আয়তন-প্রস রণাঙ্ক (γ'')

$$= \frac{\text{পাত্রে আয়তন-প্রসারণ}}{\text{পাত্রের প্রাথ ি আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$$

$$= \frac{OP \times A}{V \times \theta} \text{ (A চিত্র দেখ)।}$$

সুতরাং, $\gamma = \frac{PQ \times A}{V \times \theta} = \frac{(OP + OQ) \times A}{V \times \theta} = \frac{OP \times A}{V \times \theta} + \frac{OQ \times A}{V \times \theta}$

$$= \gamma'' + \gamma'.$$

অতএব, দেখা যাইতেছে যে, তরল পদার্থের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক উহার আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক এবং পাত্রের আয়তন-প্রসারণাঙ্কের সমষ্টি।

যেহেতু পাত্রের আয়তন-প্রসারণাঙ্ক বিভিন্ন পদার্থের তৈয়ারী পাত্রের বিভিন্ন, সুতরাং, তরল পদার্থের আপাত আয়তন- রণাঙ্ক পাত্রভেদে বিভিন্ন হইবে। কিন্তু প্রকৃত প্রসারণাঙ্ক শুধু তরল পদার্থের উপরে. ভর করে।

উদাহরণ। নিম্নলিখিত প্রদত্ত সংখ্যাগুলি হইতে কাচ এবং তামার পাত্রে অবস্থিত জলের আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয় কর :—

মনে কর, কাচের দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক $a_g = \cdot 0000095$,

তামার দৈর্ঘ্য-প্রসারণাঙ্ক $a_c = \cdot 000017$,

এবং জলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক $\gamma = \cdot 00037$,

(3·8 অনুচ্ছেদ অনুযায়ী) কাচের আ -প্রসারণাঙ্ক $\gamma_g = 3 \times a_g$

$$= \cdot 0000095 \times 3 = \cdot 0000285$$

তামার আয়তন-প্রসারণাঙ্ক $\gamma_c = 3 \times a_c = \cdot 000017 \times 3 = \cdot 000051$.

সুতরাং, কাচের পাত্রে জলের আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক→

$\gamma' = \gamma - \gamma_g = \cdot 00$[illegible]$0285 = \cdot 00$[illegible] (আনুমানিক)

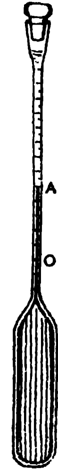
এবং তামা লের আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক→

$= \;\; - \gamma_c = \cdot 00037 - \cdot 000051 = \cdot 00032$ (আনুমানিক)।

.. যাইতেছে পাত্রভেদে আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক বিভিন্ন।

4·5. বিভিন্ন পদ্ধতিতে তরল পদার্থের আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয়ঃ

(1) ডাইলেটোমিটার (Dilatometer) বা আয়তন-থার্মোমিটারের (Volume-thermometer) সাহায্যে—এই যন্ত্রটি আনুমানিক 20 cm. দৈর্ঘ্যের সরু সমব্যাসের নল-সংযুক্ত চোঙাকৃতি কুণ্ড। ঐ নলটির গায়ে এরূপভাবে দাগ কাটা আছে যে, কুণ্ডটির অভ্যন্তরস্থ কোন তরল পদার্থ নলের যে দাগে পৌঁছায় উহার পাঠই নির্দেশ করে ঐ তরলের আয়তন ঘন-সেন্টিমিটারে।


চিত্র 4B

কার্যপদ্ধতি—4B চিত্রের কুণ্ডটিকে পর্যায়ক্রমে উষ্ণ এবং শীতল করিয়া উহার মধ্যে পরীক্ষাধীন তরল এরূপ পরিমাণে প্রবেশ করাও যাহাতে পরীক্ষাগারের তাপমাত্রায় উহা নলের গোড়ার কোন এক দাগ পর্যন্ত অবস্থান করে।

মনে কর, প্রাথমিক তাপমাত্রা θ_1°C এবং এই তাপমাত্রায় পাত্রস্থ তরল O দাগ পর্যন্ত পৌঁছিয়াছে। এখন মনে কর, O দাগের পাঠ নির্দেশ করে তরলের আয়তন V_1 c.c.। অতঃপর তরলসহ ডাইলেটোমিটার-টিকে কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রার গরম জলের পাত্রের মধ্যে স্থাপন কর। এখন দেখিতে পাইবে তরল ক্রমাগত প্রসারিত হইয়া শেষপর্যন্ত নলের কোন এক দাগ পর্যন্ত আসিয়া স্থির হয়। মনে কর, নলের এই দাগ A এবং উহার পাঠ V_2 c.c. এবং পাত্রের গরম জলের তাপমাত্রা θ_2°C। এই তাপমাত্রাই নির্দেশ করে পাত্রস্থ তরলের চরম তাপমাত্রা।

সুতরাং, উষ্ণতা-বৃদ্ধি $(\theta_2 - \theta_1)$ এবং আনুষঙ্গিক আপাত আয়তন-প্রসারণ $(V_2 - V_1)$।

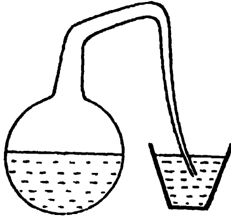
অতএব, পরীক্ষাধীন তরলের আপাত প্রসারণাঙ্ক,

$$\gamma' = \frac{V_2 - V_1}{V_1(\theta_2 - \theta_1)}।$$

(2) ভার-থার্মোমিটারের (Weight-thermomter) সাহায্যে—এই যন্ত্রে একটি বাঁকা কৈশিক নলযুক্ত কাচের কুণ্ড থাকে।

কার্যপদ্ধতি—সর্বপ্রথম কুণ্ডটিকে পরিষ্কৃত এবং শুষ্ক করিয়া উহাকে খালি অবস্থায় ওজন কর। মনে কর, এই ওজন m_1 gms.। অতঃপর কুণ্ডটিকে পর্যায়ক্রমে উত্তপ্ত ও শীতল করিয়া উহাকে পরীক্ষাধীন তরল দ্বারা পূর্ণ কর এবং

মুখটি পরীক্ষাধীন তরলের মধ্যে ডুবাইয়া রাখ (4C চিত্র)। ইহার ফলে কুণ্ডটি যখন শীতল হইয়া পরীক্ষাগারের তাপমাত্রায় আসে তখনও উহা তরলপূর্ণ থাকে। এমতাবস্থায় তরলপূর্ণ কুণ্ডটি ওজন কর। মনে কর, এই ওজন m_2 gms.। পরিশেষে কুণ্ডটিকে কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রার গরম জলের পাত্রে স্থাপন কর। কুণ্ডের তরল প্রসারিত হইয়া কৈশিক নলের মুখ দিয়া ফোঁটা আকারে বাহির হইয়া আসিবে। যখন কুণ্ডের তরল, গরম জলের তাপমাত্রায় আসে, তখন আর কুণ্ড হইতে তরল বাহির হইয়া আসিবে না। এমতাবস্থায় তরলসহ কুণ্ডটিকে গরম জলের পাত্র হইতে সরাইয়া লও। কুণ্ডটি যখন পরীক্ষাগারের তাপমাত্রায় আসে তখন উহার গা শুষ্ক করিয়া পুনরায় ওজন কর। মনে কর, এই ওজন m_3 gms.।



চিত্র 4C

গণনা—মনে কর, পরীক্ষাগারের তাপমাত্রা θ_1°C এবং গরম জলপাত্রের তাপমাত্রা θ_2°C। যেহেতু বস্তুর ভর এবং ভার সংখ্যায় সমান ধরা হয়, স্বতরাং, এক্ষেত্রে, খালি কুণ্ডটির ভর $= m_1$ gms.।

পরীক্ষাগারের তাপমাত্রায় পরীক্ষাধীন তরলসহ কুণ্ডটির ভর $= m_2$ gms.,

পরীক্ষান্তে অবশিষ্ট তরলসহ কুণ্ডটির ভর $= m_3$ gms.,

অতএব, θ_1°C তাপমাত্রায় কুণ্ডটিকে পূর্ণ করিতে প্রয়োজনীয় তরলের ভর

$$= m_2 - m_1 = M_1 \text{ gms. (মনে কর)},$$

পরীক্ষান্তে অবশিষ্ট তরলের ভর $= m_3 - m_1 = M_2$ gms. (মনে কর)।

যেহেতু θ_1°C এবং θ_2°C এই উভয় উষ্ণতায়ই কুণ্ডটি তরলপূর্ণ থাকে, স্বতরাং, θ_1°C তাপমাত্রায় M_1 gm. তরলের আয়তন $= \theta_2$°C-এ M_2 gm. তরলের আয়তন (ভার-থার্মোমিটারের আয়তন-প্রসারণ উপেক্ষা করা হইল)।

মনে কর, D_1 এবং D_2 নির্দেশ করে পরীক্ষাধীন তরলের θ_1°C এবং θ_2°C তাপমাত্রায় ঘনত্ব।

স্বতরাং, $\frac{M_1}{D_1} = \frac{M_2}{D_2}$, অথবা, $\frac{M_1}{M_2} = \frac{D_1}{D_2}$.

এখন ঘনত্ব ও প্রসারণাঙ্কের সম্পর্ক হিসাবে,

$$D_1 = D_2\{1 + \gamma'(\theta_2 - \theta_1)\} \quad (\gamma' \rightarrow \text{আপাত প্রসারণাঙ্ক})।$$

স্বতরাং, $$\frac{D_2\{1 + \gamma'(\theta_2 - \theta_1)\}}{D_2} = 1 + \gamma'(\theta_2 - \theta_1),$$

$$\gamma' = \frac{M_1 - M_2}{M_2(\theta_2 - \theta_1)}।$$

$$\text{সুতরাং, তরলের আপাত প্রসারণাঙ্ক} = \frac{\text{বহিষ্কৃত তরলের ভর}}{\text{অবশিষ্টাংশ তরলের ভর} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}।$$

উদাহরণ। একটি ভার-থার্মোমিটারের খালি অবস্থায় ওজন 40 gms.। উহাকে 0°C তাপমাত্রায় পারদপূর্ণ করিলে মোট ওজন হয় 490 gms.। পারদসহ ঐ থার্মোমিটারটিকে 100°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিলে উহা হইতে 6·85 gms. পারদ বহিষ্কৃত হয়। পারদের আপাত প্রসারণাঙ্ক নির্ণয় কর। [A Weight-thermometer while empty weighs 40 gms. When it is filled with mercury at 0°C, it weighs 490 gms. When the thermometer is heated to 100°C, 6·85 gms. of mercury come out of the thermometer. Calculate the co-efficient of apparent expansion of mercury.]

উত্তর। এখানে $m_1 = 40$ gms., $m_2 = 490$ gms.

$\therefore \quad M_1 = m_2 - m_1 = (490 - 40)$ gms. $= 450$ gms.

$\therefore \quad M_2 = (450 - 6·85)$ gms. $= 443·15$ gms.

$\theta_1 = 0°C$; $\theta_2 = 100°C$.

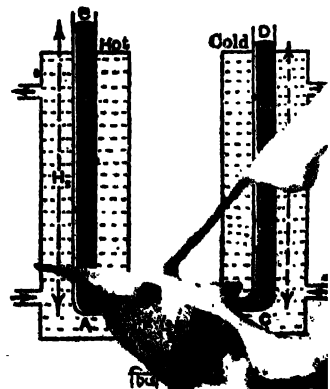
এখন, $\gamma' = \dfrac{M_1 - M_2}{M_2(\theta_2 - \theta_1)}$

$= \dfrac{6·85}{443·15 \times 100} = \dfrac{6·85}{443·15} \times 10^{-2} = \dfrac{6·85}{4·4315} \times 10^{-4}$

$= 1·545 \times 10^{-4}$.

$\therefore$ পারদের আপাত প্রসারণাঙ্ক $= 1·545 \times 10^{-4}$.

4·6. ডুলং এবং পেটিট যন্ত্রের (Dulong and Petit apparatus) সাহায্যে তরল পদার্থের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক নিরূপণ: 4D চিত্রে ডুলং এবং পেটিটের যন্ত্রটি দেখানো হইল। চিত্রানুযায়ী আমরা দেখিতে পাই ইহা অনেকটা 'U' আকৃতিবিশিষ্ট একটি কাচের নল। ইহার *AB* এবং *CD* খাড়া বাহু দুইটির প্রত্যেকটিকে ঘিরিয়া একটি করিয়া জ্যাকেট বসানো আছে এবং প্রত্যেকটি জ্যাকেটের সহিত উপরে এবং নীচে একটি করিয়া নল সংযুক্ত রহিয়াছে।



চিত্র

পরীক্ষাধীন তরল এই যন্ত্রটির মধ্যে লওয়া হয়। নল দুইটির মধ্যে তরলশীর্ষের পাঠ গ্রহণের

জন্য প্রত্যেকটি নলের উপরিভাগে একটি করিয়া স্কেল সংলগ্ন থাকে (চিত্রে এই স্কেল দুইটি দেখানো হয় নাই)। বাহু দুইটির তরলের উষ্ণতার পরিবর্তন না হইলে তরলস্তম্ভের শীর্ষ উভয় বাহুতে একই তলে অবস্থান করে।

কার্যপদ্ধতি—CD বাহুর জ্যাকেটের মধ্যে θ_1°C উষ্ণতার ঠাণ্ডা জল এবং AB বাহুর জ্যাকেটের মধ্যে θ °C উষ্ণতার গরম জল প্রবাহিত করা হয়। বাহু দুইটির তরলের মধ্যে তাপ-সঞ্চালন ব[illegible] করিবার জন্য যন্ত্রের AC অনুভূমিক অংশ সবসময়ই θ_1°C উষ্ণতার শীতল জলে ভি[illegible]ইয়া রাখা হয়। বাহু দুইটির তরলশীর্ষ স্থির অবস্থায় না আসা পর্যন্ত উহাদের জ্যা[illegible]টের মধ্যে পূর্বোক্ত গরম এবং শীতল জলের প্রবাহ চালাইতে হইবে। তরলশীর্ষদ্বয় স্থির অবস্থায় আসিলে দেখিবে উষ্ণতা-বৈষম্যের ফলে AB বাহুর তরলশীর্ষ CD বাহুর তরলশীর্ষ অপেক্ষা উচ্চে অবস্থান করে। অতঃপর স্কেলের সাহায্যে তরলস্তম্ভের উভয় শীর্ষের অবস্থানের পার্থক্য পাঠ কর। মনে কর, এই পাঠ h cm.।

এখন একটি মিটার স্কেলের সাহায্যে CD বাহুর তরলস্তম্ভের উচ্চতা মাপিয়া লও।

মনে কর, ইহা H_1 cm. এবং উষ্ণ তরলস্তম্ভের উচ্চতা H_2 cm. (ইহা বস্তুতঃ মাপিবার প্রয়োজন নাই)।

গণনা—মনে কর, θ_1°C তাপমাত্রায় তরলের ঘনত্ব D_1 এবং θ_2°C তাপমাত্রায় উহা D_2।

যেহেতু এক্ষেত্রে, তরলস্তম্ভ দুইটি পরস্পরকে সাম্য অবস্থায় রাখে, সুতরাং, উদস্থিতি-বিদ্যার 10·13 অনুচ্ছেদের সমীকরণ অনুযায়ী,

$$\frac{\text{উষ্ণ তরলস্তম্ভের উচ্চতা } (H_2)}{\text{শীতল তরলস্তম্ভের উচ্চতা } (H_1)} = \frac{\text{শীতল বাহুর তরলের ঘনত্ব } (D_1)}{\text{উষ্ণ বাহুর তরলের ঘনত্ব } (D_2)}$$

অর্থাৎ $$\frac{H_2}{H_1} = \frac{D_1}{D_2}।$$

এখন 3·9 অনুচ্ছেদ অনুযায়ী আমরা জানি,

$$D_1 = D_2\{1+\gamma(\theta_2-\theta_1)\}.$$

সুতরাং, $$\frac{H_2}{H_1} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{D_2\{1+ [illegible] \theta_1)\}}{D_2}$$

$$= 1+\gamma(\theta_2-\theta_1),$$

$$\frac{H_2}{H_1} - 1 = \gamma(\theta_2-\theta_1).$$

$$\therefore \quad \frac{H_2 - H_1}{H_1} = \gamma(\theta_2 - \theta_1).$$

$$\therefore \quad \gamma = \frac{H_2 - H_1}{H_1(\theta_2 - \theta_1)}$$

$$= \frac{h}{H_1(\theta_2 - \theta_1)} \quad (\because \; h = H_2 - H_1)$$

সুতরাং, তরলের প্রকৃত প্রসারণাঙ্ক = $\frac{\text{তরলস্তম্ভ দুইটির উচ্চতার পার্থক্য}}{\text{শীতলস্তম্ভটির উচ্চতা} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$ ।

কয়েকটি তরলের প্রকৃত প্রসারণাঙ্কের তালিকা

তরল	প্রতি °C	প্রতি °F
কোহল (Alcohol)	·0011	·00061
পারদ (Mercury)	·000[illegible]	·00010
জল (15 – 100°C) (Water)	·00037	·00020
তার্পিন তেল (Turpentine)	[illegible]105	·00058

উদাহরণ। 0°C উষ্ণতায় 60 cms. উচ্চতাবিশিষ্ট কোন তরলস্তম্ভ 100°C উষ্ণতায় ঐ তরলের 65·9 cms. উচ্চতার সহিত সমতা রক্ষা করে। উক্ত তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয় কর। [A column of 60 cms. of a liquid at 0°C balances a column of the same liquid of 65·9 cms. long kept at 100°C. Calculate the co-efficient of real expansion of the liquid.]

উত্তর। এক্ষেত্রে, $H_1 = 60$ cms. ; $H_2 = 65 \cdot 9$ cms. ;
$\theta_1 = 0°C$; $\theta_2 = 100°C$.

যেহেতু তরলস্তম্ভ দুইটি সমতা রক্ষা করে,

সুতরাং, $\frac{H_2 - H_1}{H_1(\theta_2 - \theta_1)}$ [illegible]

অথবা, $$\gamma = \frac{65 \cdot 9 - 60}{60(100 - 0)} = \frac{5 \cdot 9}{6} \times 10^{-3}$$

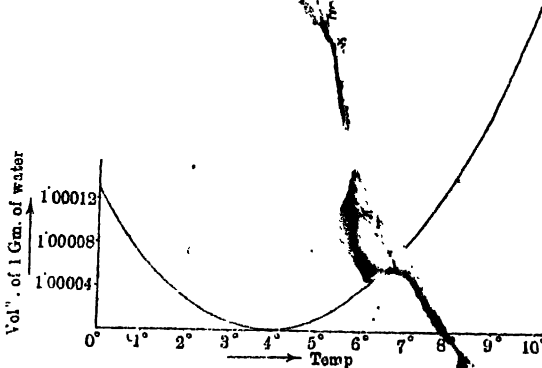
$$= \cdot 983 \times 10^{-3} = \cdot 000983.$$

4·7. জলের ব্যতিক্রম প্রসারণ (Anomalous expansion of water) : সাধারণতঃ উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে তরলের আয়তনের প্রসারণ এবং উষ্ণতা-হ্রাসে উহার সঙ্কোচন ঘটে। কিন্তু জলের ক্ষেত্রে ইহার ব্যতিক্রম পরিলক্ষিত হয়। পরীক্ষা দ্বারা দেখা যায়, 0°C তাপমাত্রা জল উত্তপ্ত করিতে থাকিলে 4°C তাপমাত্রা পর্যন্ত উহার আয়তন কমিতে থাকে এবং 4°C তাপমাত্রার ঊর্ধ্বে জলের তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে অন্যান্য তরলের ন্যায় উহার আয়তনেরও বৃদ্ধি হয়। সুতরাং, 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘনত্ব সর্বাধিক। বরফ যদিও জলের কঠিন অবস্থা নির্দেশ করে কিন্তু উহা জল অপেক্ষা হাল্কা।

বিভিন্ন পরীক্ষার দ্বারা জলের এই ব্যতিক্রম প্রসারণ দেখানো হয়। যথা—

(1) ডাইলেটোমিটার-এর (Dilatometer) সাহায্যে—তরলের আপাত প্রসারণাঙ্ক-নির্ণয়ে এই যন্ত্র ব্যবহৃত হইয়াছে (4B চিত্র দেখ)। বর্তমান ক্ষেত্রে এই যন্ত্রটি ব্যবহার করিবার পূর্বে, ইহার এক-সপ্তাংশ ($\frac{1}{7}$) পারদপূর্ণ করা হয়। পারদের আয়তন-প্রসারণাঙ্ক কাচের প্রসারণাঙ্কের সাতগুণ অধিক। সুতরাং, উক্ত ব্যবস্থায় যন্ত্রের অভ্যন্তরে কোন তরল রাখিলে উহার প্রকৃত প্রসারণ ও সঙ্কোচন নির্ণয় করা সম্ভব।

কার্যপদ্ধতি—জলের ব্যতিক্রম প্রসারণ নির্ণয়কালে ঐ আংশিক পারদপূর্ণ ডাইলেটোমিটারের কোন নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত বিশুদ্ধ জল লও। অতঃপর উহা একটি সুবেদী থার্মোমিটারসহ হিমশীতল জলপাত্রে স্থাপন কর। যন্ত্রের নলের যে দাগে জলের শীর্ষ স্থির অবস্থায় দাঁড়ায় তাহার পাঠ এবং থার্মোমিটারের পাঠ লও।



চিত্র

অতঃপর ঐ ... জলপাত্রটি আস্তে আস্তে উত্তপ্ত করিতে ... প্রতি ½°C তাপমা... ...ের অভ্যন্তরের জলশীর্ষের অবস্থান পাঠ কর। এই প্রক্রিয়া ...খিতে পাইবে 4°C তাপমাত্রা পর্যন্ত জলশীর্ষ ক্রমাগত নীচে

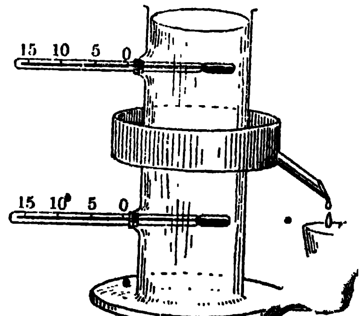
নামিয়া আসিতেছে এবং 4°C তাপমাত্রার ঊর্ধ্বে সাধারণ তরলের ন্যায় জলেরও আয়তনের প্রসারণ হওয়ায় যন্ত্রের নলের মধ্যে জলশীর্ষ উপরের দিকে উঠিতে থাকে।

তাপমাত্রা-পরিবর্তনে এক গ্রাম বিশুদ্ধ জলের আয়তনের কিরূপ পরিবর্তন হয় উহা 4E লেখচিত্রের সাহায্যে দেখানো হইল। চিত্রদৃষ্টে বুঝিতে পারা যায়, 4°C তাপমাত্রা পর্যন্ত জলের আয়তন ক্রমান্বয়ে কমিতে থাকে এবং উহার ঊর্ধ্বে তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে জলের আয়তনের প্রসারণ ঘটে।

(2) হোপ-এর যন্ত্রের (Hope's appara[illegible]) সাহায্যে—বিজ্ঞানের ক্লাসে এই যন্ত্রের সাহায্যে 4°C তাপমাত্রায় জলের ঘ[illegible]ত্ব যে সর্বাপেক্ষা অধিক তাহা সুস্পষ্টভাবে দেখানো হইয়া থাকে। যন্ত্রটি 4F চি[illegible]ত্রে দেখানো হইল। ইহা পুরু দেওয়ালের লম্বা কাচের চোঙ দ্বারা সংগঠিত। এই চোঙের উপরের ও নীচের অংশে −5°C হইতে 15°C পর্যন্ত অংশাঙ্কিত দুইটি থার্মোমিটার প্রবেশ করানো থাকে এবং মধ্যবর্তী স্থান জ্যাকেট পরিবেষ্টিত রাখা হয়। ঐ [illegible]কেটের গাত্রে একটি নির্গমন নল সংযুক্ত আছে।

পরীক্ষা-আরম্ভে চোঙটিকে আনুমানিক 1[illegible] C তাপমাত্রার বিশুদ্ধ জল দ্বারা এবং জ্যাকেটটিকে আনুমানিক −20°C তাপমাত্রার হিম-মিশ্রণ (লবণ-মিশ্রিত বরফ-টুকরা—অর্থাৎ freezing mixture) দ্বারা পূর্ণ করা হয়। পরীক্ষাকালীন গলিত হিম-মিশ্রণ জ্যাকেট-সংলগ্ন নির্গমন নল দিয়া বাহির হইয়া আসে।

কার্যপদ্ধতি—জ্যাকেটের সন্নিহি[illegible] চোঙের জল হিমশীতল স্থানের সংস্পর্শে আসায় উহার তাপমাত্রা কমিয়া যায় এব[illegible] ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়। ফলে, ঐ শীতল জল নীচে নামিয়া আসে এবং নীচের হাল্‌কা জল উপরের দিকে উঠে। চোঙের নীচের অংশে জলের এই পরিচলন (convection) ক্রিয়া চলিতে থাকে যেপর্যন্ত না নীচের থার্মোমিটারটির পাঠ 4°C নির্দেশ করে। এ[illegible] পর্যন্ত উপরের থার্মোমিটারের পাঠ [illegible]বর্তিত থাকে।



চিত্র 4F

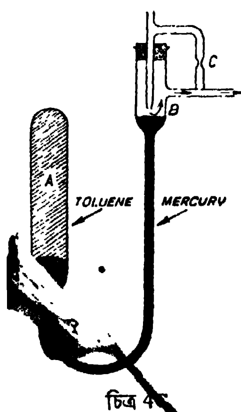
এমতাবস্থায় জ্যা[illegible]ট-সংলগ্ন শীতল জল আর নীচে নামিয়[illegible]না। ঐ [illegible] [illegible] ক্রমশঃ কমিয়া যায় এবং পরিশেষে ঐ জ[illegible] [illegible]রিবর্তিত হওয়ায় হাল্‌কা হয় এবং উপরের দিকে ভাসিয়া উঠে। এই সময় উপ[illegible] [illegible]রের পাঠ কমিয়া আসে কিন্তু নীচের থার্মোমিটারের পাঠ 4°C থাকিয়া [illegible]

পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয় বরফ জল অপেক্ষা হাল্কা এবং 4°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ জলের ঘনত্ব সর্বাধিক।

4·8. জলের ব্যতিক্রম প্রসারণের প্রত্যক্ষ ফল (Consequence of anomalous expansion of water) : শীতপ্রধান দেশে অত্যধিক শীতে নদী, হ্রদ ইত্যাদি বিস্তীর্ণ জলাশয়গুলির জল জমিয়া বরফে পরিণত হয়। যদি বরফ জল অপেক্ষা ভারী হইত এবং 4°C তাপমাত্রার জলের ঘনত্ব সর্বাধিক না হইত, তাহা হইলে ঐ জলাশয়গুলির তল নীচ হইতে জমিয়া আসিত। ইহার ফলে, জলচর জন্তুসমূহের প্রাণরক্ষা সম্ভব হইত না।

এক্ষেত্রে জলাশয়গুলির উপরিভাগের জল শীতল বায়ুমণ্ডলের প্রত্যক্ষ সংস্পর্শে আসিয়া শীতল হয়। এই শীতল জল অপেক্ষাকৃত ভারী হওয়ায় নীচের দিকে নামিয়া আসে এবং নীচের হাল্কা জল উপরে উঠে। এই জল আবার শীতল হইয়া নীচে আসে এবং নীচ হইতে উষ্ণতর জল উপরে উঠে। জলের এই প্রবাহ চলিতে থাকে যে পর্যন্ত সমগ্র জলের তাপমাত্রা 4°C-এ নামিয়া না আসে। অতঃপর উপরিভাগের জল জমিয়া বরফে পরিণত হয়, কিন্তু নীচে 4°C তাপমাত্রার জল থাকিয়া যায়। ইহার ফলে, শীতপ্রধান অঞ্চলের জলচর জন্তুগুলির প্রাণরক্ষা হয়।

4·9. উষ্ণতা-পরিবর্তনে তরলের প্রসারণের পরিবর্তনের কার্যকারিতা (Usefulness of volume-change of a liquid with temperature change) : পূর্বে আলোচিত হইয়াছে যে, উষ্ণতা-পরিবর্তনে তরলের আয়তনের পরিবর্তন ঘটে। ইহার কার্যকারিতা পারদ-থার্মোমিটার, কোহল-থার্মোমিটার ইত্যাদির পরিকল্পনায় বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়।



চিত্র 4G

তরলের এইপ্রকারের আয়তন-পরিবর্তন গ্যাসচুল্লী ইত্যাদির তাপমাত্রা-নিয়ন্ত্রণ-যন্ত্রে ব্যবহৃত হইয়া থাকে। 4G চিত্রে একটি তাপমাত্রা-নিয়ন্ত্রণ-যন্ত্রের নমুনা দেখানো হইল। ইহা একটি U আকৃতির নল দ্বারা সংগঠিত। এই নলের একপ্রান্ত একটি চোঙ (*A*) সংলগ্ন এবং অপরপ্রান্ত বার্নারের (burner) গ্যাস-সরবরাহ-সংস্থার (*B*) সহিত সংযুক্ত। A-চোঙটির ... টলুইন (Toluene) নামক অত্যধিক প্রসারণশীল তরলপূর্ণ এবং 'U' নলটির অবশিষ্টাংশ পারদপূর্ণ। সাধারণ... রে গ্যাস সরবরাহ হয়। যখন বার্নারে সামান্য গ্যাস সরবরাহ ...বকল্প পথ *C* দিয়া গ্যাস চলাচল করে।

যে প্রকোষ্ঠের তাপমাত্রা-নিয়ন্ত্রণ প্রয়োজন উহার মধ্যে তরলসহ A চোঙটি প্রবেশ করানো থাকে। নির্দিষ্ট তাপমাত্রা অপেক্ষা প্রকোষ্ঠের তাপমাত্রা অধিক হইলে চোঙের তরল প্রসারিত হইয়া পারদতম্ভর উপর চাপ প্রয়োগ করে। ফলে, 'U' নলের ডান বাহুর পারদশীর্ষ উপরের দিকে উঠিয়া B পথ বন্ধ করিয়া দেয়। সুতরাং, বার্নারটি পূর্বের ন্যায় জ্বলিতে পারে না এবং প্রকোষ্ঠের তাপমাত্রা আপনা হইতে নামিয়া আসে এবং উহা নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় আসিলে বার্নারটি পুনরায় স্বাভাবিকভাবে জ্বলিতে থাকে।

উদাহরণ। (1) একটি খালি ভার-থার্মোমিটারের ওজন 50 gms. এবং 0°C তাপমাত্রায় পারদপূর্ণ অবস্থায় ইহার ওজন 710 gms.। ভার-থার্মোমিটারটি একটি উষ্ণ তৈলপাত্রে স্থাপিত করিলে উহা হইতে 30 gms. পারদ অপসারিত হয়—তৈলপাত্রের তাপমাত্রা নির্ণয় কর। (পারদের আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক = ·000154)। [A Weight-thermometer weighs 50 gms. when empty and 710 gms. when full of mercury at 0°C. When placed in a hot oil-bath 30 gms. of mercury were expelled. Find the temperature of the oil-bath. (The co-efficient of apparent expansion of mercury = ·000154)]

উত্তর। এখানে 0°C উষ্ণতায় পারদের পরিমাণ = (710 − 50) gms.
= 660 gms.

উচ্চতর উষ্ণতায় অবশিষ্ট পারদের পরিমাণ
= (660 − 30) gms. = 630 gms.

এখন, $\gamma' = \dfrac{\text{অপসারিত পারদের পরিমাণ}}{\text{অবশিষ্ট পারদের পরিমাণ} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$,

অথবা, $\cdot 000154 = \dfrac{30}{630 \times \theta}$ (এক্ষেত্রে θ = তৈলপাত্রের উষ্ণতা)

$\therefore \ \theta = \dfrac{30}{630 \times \cdot 000154} = \cdot 309^\circ \cdot 5C$ (আনুমানিক)।

(2) 0°C তাপমাত্রায় পারদের ঘনত্ব 13·596 gms./c.c.। 180°C তাপমাত্রায় ইহার ঘনত্ব নির্ণয় কর। (পারদের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক = ·000182) [The density of mercury at 0°C is 13·596 gms./c.c. Calculate its density at 180°C. (Co-efficient of absolute expansion of mercury = ·000182)]

উত্তর। মনে কর, 0°C-এ পারদের ঘনত্ব = D_0 এবং 180°C-এ ঘনত্ব = D_1.

এখানে → D_0 = 13·596 gms./c.c. ;

উষ্ণতা-বৃদ্ধি → $\theta = 180 - 0 = 180°C$;

পারদের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক $\gamma = \cdot 182 \times 10^{-3}$.

আমরা জানি, $D_0 = D_1(1+\gamma\theta)$.

সুতরাং, $D_1 = \dfrac{D_0}{1+\gamma\theta} = D_0(1+\gamma\theta)^{-1} = D_0(1-\gamma\theta)$

$= 13 \cdot 596(1 - \cdot 182 \times 10^{-3} \times 180)$

$= 13 \cdot 1$[illegible] gms./c.c. (আনুমানিক)।

সারাংশ

তরল পদার্থের নিজস্ব কোন আকার না থাকায় উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে তরলের কেবলমাত্র আয়তনের প্রসারণ ঘটে।

তরল পদার্থের প্রসারণ দুই প্রকারের ; যথা—(1) আপাত প্রসারণ ; (2) প্রকৃত প্রসারণ।

কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে—

তরলের প্রকৃত প্রসারণ = তরলের আপাত প্রসারণ + পাত্রের আয়তনের প্রসারণ।

তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক (γ)—প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে তরল পদার্থের প্রতি একক আয়তনের বৃদ্ধিকে উহার প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক বলা হয়।

তরলের আয়তন-প্রসারণাঙ্ক (γ)

$$= \frac{\text{মোট আয়তন-প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}।$$

তরলের আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক (γ')—প্রতি ডিগ্রী তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে পাত্রস্থ তরল পদার্থের প্রতি একক আয়তনের আপাত বৃদ্ধিকে উহার আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক বলে।

আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক γ'

$$= \frac{\text{মোট আপাত আয়তন-প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}।$$

তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক (γ)

= তরলের আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক + পাত্রের আয়তন-প্রসারণাঙ্ক।

ডাইলেটোমিটার কিম্বা ভার-থার্মোমিটারের সাহায্যে তরলের আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয় করা [illegible]।

সাধারণ[illegible] যন্ত্রের সাহায্যে তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয় করিতে

১৫৮

প্রতিবিম্বিত ডাইলেটোমিটার কিম্বা হোপ-এর যন্ত্রের সাহায্যে জলের ব্যতিক্রম প্রসারণ দেখানো হয়। জলের ব্যতিক্রম প্রসারণের ফলে শীতপ্রধান অঞ্চলের বিস্তীর্ণ জলাশয়সমূহের নীচের দিকে জল জমিয়া বরফ হইতে পারে না। ফলে, অত্যধিক শীতেও জলচর জন্তুগুলি বাঁচিয়া থাকে।

প্রশ্নমালা

1. তরল পদার্থের প্রকৃত এবং আপাত প্রসারণের মধ্যে পার্থক্য নির্ণয় কর। [Distinguish between real and apparent expansion of liquid.]

2. তরল পদার্থের আপাত এবং প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। উহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক কি? [Define the co-efficient of apparent and real expansion of liquid. How are they related ?]

3. কোন তরল পদার্থের আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয়ের একটি সহজ পদ্ধতি বর্ণনা কর। [Describe a simple method of finding out the apparent co-efficient of expansion of a liquid.]

4. ভার-থার্মোমিটারের সাহায্যে কোন তরল পদার্থের আপাত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইলে কিরূপে অগ্রসর হইতে হইবে? [How will you proceed to determine the apparent co-efficient of expansion of a liquid by a Weight-thermometer ?]

5. 0°C তাপমাত্রায় একটি ভার-থার্মোমিটারে 500 gms. পারদ ধরে। 33°C-এ ঐ থার্মোমিটারটিকে উত্তপ্ত করিলে উহা হইতে কতটা পরিমাণ পারদ অপসারিত হইবে? (পারদের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক = ·000182 এবং কাচের আয়তন-প্রসারণাঙ্ক = ·000027)] A Weight-thermometer contains 500 gms. of mercury at 0°C. What mass of mercury will overflow when the Weight-thermometer is heated to 33°C ? (The co-efficient of absolute expansion of mercury = ·000182 and the co-efficient of cubical expansion of glass = ·000027)] [*Ans.* 2·]

6. ডুলং এবং পেটি পদ্ধতির সাহায্যে উষ্ণতার পরিবর্তনে পারদের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণাঙ্ক নির্ণয় কর। [Describe Dulong and Petit's method of determining the co-efficient of real expansion of mercury with change of temperature.]

7. একটি 'U'-আকৃতিবিশিষ্ট তরলপূর্ণ নলের দুইটি বাহু যথাক্রমে 0°C এবং 100°C উষ্ণতায় অবস্থিত। যদি শীতল বাহুর তরলশীর্ষ 60 cms. এবং উষ্ণ বাহুর তরল-শীর্ষ উহা অপেক্ষা 1·8 cms. উচ্চতর হয়, তাহা হইলে উক্ত তরল পদার্থটির আয়তন-প্রসারণাঙ্ক কত হইবে? [A 'U'-tube contains a liquid, its limbs being at 0°C and 100°C respectively. If the cold column is 60 cms. and the hot column 1·8 cms. higher, what would be the co-efficient of absolute expansion of a liquid?] [*Ans.* ·0003]

8. "4°C উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব সর্বাধিক।"—এই উক্তিটির তাৎপর্য বিশ্লেষণ কর। যখন পারদ এবং জল উভয়কেই 0°C উষ্ণতা হইতে উত্তপ্ত করা হয় তখন উহাদের মধ্যে ব্যবহারের কিরূপ তারতম্য সূচিত হয়? [Water is said to have its maximum density at 4°C. Explain what this means. In what respects is the behaviour of mercury different from that of water when both are gradually warmed from 0°C?]

9. জলকে ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে ঠিক জমিয়া যাওয়ার পূর্বে সর্বাধিক ঘনত্ব প্রাপ্ত হয়—ইহা কিরূপে প্রমাণ করিবে? [How would you demonstrate that water while being cooled acquires maximum density, sometime before it begins to freeze?]

10. নিম্নে বর্ণিত বিষয়গুলির পূর্ণ ব্যাখ্যা দাও:

(ক) জলের উপর বরফ জমে।

(খ) সরোবরের জল জমিয়া গেলেও মাছ জীবিত থাকে এবং চলাফেরা করিতে পারে।

[Give a complete explanation of the following:

(a) Ice forms on the surface of water.

(b) Fish can live and move in a frozen lake.]

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

গ্যাসের প্রসারণ

(Expansion of ga es)

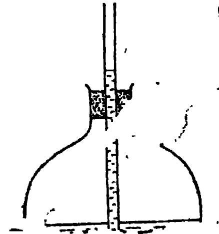
5·1. সাধারণ আলোচনাঃ ক । এবং তরল পদার্থের ন্যায় উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের অ তনের বৃদ্ধি হইতে দেখা যায়। গ্যাসের আয়তন-প্রসারণ এবং প্রসারণাঙ্ক কঠিন এবং তরল পদার্থের তুলনায় এত অধিক যে, আমরা গ্যাসের আপাত আয়তন-প্রসারণ বিবে ার মধ্যে আনি না।

আবার তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিলে কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসকে, যে-কোন আয়তনের পাত্রেই রাখা হউক না কেন া ঐ পাত্রের আয়তন ধারণ করে। ইহার ফলে, ঐ গ্যাসের চাপেরও পরিবর্তন ঘটে

কাজেই আমরা দেখিতে পাই যে, **বলমাত্র উষ্ণতার পরিবর্তনেই যে গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তন ঘটে তা । নহে, চাপের পরিবর্তনেও উহার আয়তনের পরিবর্তন সংঘটিত হয়।**

এই কারণে গ্যাসের প্রসারণ স আমরা দুইটি সূত্র বিশেষভাবে উল্লেখ করিয়া থাকি। একটি সূত্রকে বলা হয় সের সূত্র (Charles' Law) ; অপরটিকে বলা হয় বয়েলের সূত্র (Boyle's Law) . এই সূত্র দুইটির বিস্তৃত আলোচনা যথাস্থানে করা হইবে।

5·2. উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে গ্যাসের প্রসারণের বিভিন্ন পরীক্ষাঃ (1) ছিপিযুক্ত একটি কাচের ফ্লাস্কে একটি লম্বা কাচনল প্রবেশ করানো আছে। এই নলের নিম্নপ্রান্ত ফ্লা তলার কাছাকাছি এবং উপরের প্রান্ত ফ্লাস্কের উর্ধ্বে থা . এমতাবস্থায় ফ্লাস্কের মধ্যে কিছু পরিমাণ রঙীন জল ঢা । যাহাতে নলটিরও কিছু অংশ জলের মধ্যে ডুবানো থা (5A চিত্রে দেখ)। এক্ষেত্রে ফ্লাস্কের অভ্যন্তরস্থিত জ র উপরের অংশ বায়ুপূর্ণ। এখন দুই হাতের তাল উষ্ণ হইবে, উপরের অংশ দুই হাতে ধর। দেখিতে পা যে, কাচের নল বাহিয়া রঙীন জল উপরের দিকে উঠিতেছে।



এক্ষেত্রে হাতের তালুর সামান্য উষ্ণতা-বৃদ্ধিতেই ফ্লাস্কের

weighs 50 gms. Its specific heat is ·092. Calculate its thermal capacity and the water-equivalent.]

উত্তর। মনে কর, ঐ তাম্রখণ্ডের তাপগ্রহণ-ক্ষমতা C
এবং উহার জল-সম W।

তাপগ্রহণ-ক্ষমতার সংজ্ঞা হিসাবে,

$$C = M.S$$
$$= 50 \times \cdot 092$$
$$= 4 \cdot 6 \text{ calories.}$$

জল-সমের সংজ্ঞা হিসাবে,

$$W = C \text{ (সংখ্যা হিসাবে)।}$$
$$\therefore \quad W = 4 \cdot 6 \text{ grammes.}$$

অতএব ঐ তাম্রখণ্ডের তাপগ্রহণ-ক্ষমতা = 4·6 ক্যালরি এবং উহার জল-সম = 4·6 গ্রাম।

(2) একটি তরলের আপেক্ষিক তাপ ·54 এবং উহার তাপমাত্রা 29°C ; অপর একটি তরলের আপেক্ষিক তাপ ·36 এবং উহার তাপমাত্রা 11°C। এই তরল দুইটির মিশ্রণের ফলে উহাদের সাধারণ তাপমাত্রা দেখা গেল 17°C। তরল দুইটির ভরের অনুপাত নির্ণয় কর। [A liquid of sp. heat ·54 and temperature 29°C is mixed with another liquid of sp. heat ·36 and temperature 11°C and the final temperature was 17°C. In what proportion were the liquids mixed ?]

উত্তর। প্রথম তরলের ভর = m_1, (ধরা গেল)
উহার তাপমাত্রা, $\theta_2 = 29°C$,
উহার আপেঃ তাপ, $S_1 = \cdot 54$
এবং দ্বিতীয় তরলের ভর = m_2, (ধরা গেল)
উহার তাপমাত্রা, $\theta_1 = 11°C$,
উহার আপেঃ তাপ, $S_2 = \cdot 36$
এবং মিশ্রিত তরল দুইটির সাধারণ তাপমাত্রা, θ =

এক্ষেত্রে প্রথম তরলের বর্জিত তাপ = দ্বিতীয় তরলের গৃহীত তাপ।

অর্থাৎ, $m_1 S_1 (\theta_2 - \theta) = m_2 S_2 (\theta - \theta_1)$.

অতএব, $m_1 \times \cdot 54 \, (29 - 17) = m_2 \times \cdot 36 \, (17 - 11)$

অথবা, $m_1 \times \cdot 54 \times 12 = m_2 \times \cdot 36 \times 6.$

সুতরাং, $\frac{m_1}{m_2} = \frac{\cdot 36 \times 6}{\cdot 54 \times 12} = \frac{1}{3}.$

এক্ষেত্রে, প্রথম তরলের ভর দ্বিতীয় তরলের ভরের এক-তৃতীয়াংশ।

(3) 50°C হইতে 100°C পর্যন্ত তাপমাত্রা নির্ণয় করা যায় এরূপ ধরনের একটি থার্মোমিটার এবং 20°C-এর নিম্নের তাপমাত্রার কিছু পরিমাণ জল তোমাকে দেওয়া হইল। অন্য কোন থার্মোমিটারের সাহায্য না লইয়া কিরূপে ঐ জলের তাপমাত্রা নির্ণয় করিতে পারা যায় তাহা একটি পরীক্ষার সাহায্যে বর্ণনা কর। [Suppose you are given a thermometer reading only from 50°C to 100°C and some water the temperature of which is below 20°C. Describe an experiment how, without using another thermometer, you would determine roughly the temperature of the water.] [C. U. 1953 ; Pat. 1921]

পরীক্ষা—একটি ক্যালরিমিটার লও। উহার জল-সম উপেক্ষা করা হইল। এখন ঐ পাত্রের মধ্যে (মনে কর) 70°C তাপমাত্রার 50 gms. গরম জল লওয়া হইল। অতঃপর এই গরম জলের মধ্যে পরীক্ষাধীন শীতল জল আস্তে আস্তে ঢালিতে থাক এবং আলোড়কের সাহায্যে নাড়িয়া প্রদত্ত থার্মোমিটারটির সাহায্যে তাপমাত্রা দেখিতে থাক। যখন মিশ্রিত জলের তাপমাত্রা (মনে কর) 60°C-তে নামিয়া আসে, তখন জল-ঢালা বন্ধ কর। অতঃপর গৃহীত শীতল জলের ওজন লও। মনে কর, এই ওজন 10 gms.।

গণনা : বর্ণিত পদ্ধতি হিসাবে—

গৃহীত গরম জলের ভর, $M = 50$ gms. ; (ধরা হইয়াছে)

উহার প্রাথমিক তাপমাত্রা, $\theta_2 = 70°C$; (ধরা হইয়াছে)

পরীক্ষাধীন গৃহীত শীতল জলের ভর, $m = 10$ gms. ; (ধরা হইয়াছে)

উহার প্রাথমিক তাপমাত্রা $= \theta_1$ °C ; (মনে কর, উহা 20°C-এর নিম্নে)

মিশ্রণের চরম তাপমাত্রা, $\theta = 60°C.$

এক্ষেত্রে, গরম জলের বর্জিত তাপ = শীতল জলের গৃহীত তাপ।

সুতরাং $M(\theta_2 - \theta) = m(\theta - \theta_1)$

অথবা, $50(70 - 60) = 10(60 - \theta_1)$

অথবা, 5 [illegible] θ_1.

$\theta_1 = 10°C.$

কাজেই দেখিতে পাই প্রদত্ত থার্মোমিটারটির সাহায্যে এই তাপমাত্রা নির্ণয় হইল।

6·13. ক্যালরিমিতিক নীতির সাহায্যে উচ্চতাপমাত্রা নির্ণয় ঃ

মনে কর, কোন জলন্ত চুল্লীর তাপমাত্রা নির্ণয় করিতে হইবে। সাধারণ পারদ-থার্মোমিটারের সাহায্যে সরাসরিভাবে এই তাপমাত্রা নির্ণয় করিতে পারা যাইবে না। সুতরাং ঐ চুল্লীর মধ্যে আমরা এমন একটি কঠিন ধাতব পদার্থ (যেমন, একখণ্ড প্লাটিনাম) প্রবেশ করাইয়া থাকি যাহা চুল্লীর তাপমাত্রাতে গলিয়া যায় না। চুল্লীর তাপমাত্রায় উত্তপ্ত ঐ কঠিন বস্তুটি ক্যালরিমিটারের জলে ডুবাইলে ক্যালরিমিটার এবং উহার জলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইবে। কাজেই থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের এই তাপমাত্রা নির্ণয় করিয়া আমরা চুল্লীটির তাপমাত্রা নির্ণয় করিতে পারিব। নিম্নলিখিত উদাহরণটির সাহায্যে এই পদ্ধতিটি বুঝানো হইল।

উদাহরণ। 200 gms. ভরবিশিষ্ট একটি প্লাটিনাম বলকে জলন্ত চুল্লীতে উত্তপ্ত করিয়া উহা 0°C উষ্ণতার 150 gms. জলের মধ্যে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। উত্তপ্ত প্লাটিনাম বলটি ক্যালরিমিটারের শীতল জল 30°C তাপমাত্রায় উন্নীত করিল। এই তথ্য হইতে চুল্লীর তাপমাত্রা নির্ণয় করিতে হইবে (প্লাটিনামের আপেক্ষিক তাপ = ·031)।

এক্ষেত্রে, মনে কর—

প্লাটিনাম বলের ভর, $M = 200$ gms.

চুল্লীর তাপমাত্রা = প্লাটিনাম বলের তাপমাত্রা

$= \theta_2$°C. (নির্ণয় করিতে হইবে)

প্লাটিনামের আপেঃ তাপ, $S = \cdot 031$;

জলের ভর, $m = 150$ gms. ;

জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা, $\theta_1 = 0$°C ;

জল এবং প্লাটিনাম এই উভয়ের চরম তাপমাত্রা $= \theta = 30$°C.

এক্ষেত্রে, প্লাটিনাম বলের বর্জিত তাপ = জলের গৃহীত তাপ। (ক্যালরিমিটারের গৃহীত তাপ উপেক্ষা করা হইল।)

এখন, প্লাটিনাম বলের বর্জিত তাপ $= MS(\theta_2 - \theta)$

$= 200 \times \cdot 031(\theta_2 - 30)$

এবং জলের, গৃহীত তাপ $= m(\theta - \theta_1) = 150(30 - 0) = 150 \times 30.$

সুতরাং, $200 \times \cdot 031(\theta_2 - 30) = 150 \times 30$

বা, $4 \times \cdot 031(\theta_2 - 30) = 3 \times 30$

বা, $\cdot 124\theta_2 - \cdot 124 \times 30 = 3 \times 30$

অথবা, $\cdot 124\theta_2 = 30 \times 3 + \cdot 124 \times 30 = 93 \cdot 72.$

$$\therefore \quad \theta_2 = \frac{93{\cdot}72}{{\cdot}124} = 755^\circ{\cdot}8C.$$

সুতরাং, জ্বলন্ত চুল্লীর তাপমাত্রা 755°·8C নির্দেশিত হইল।

6·14. জলের আপেক্ষিক তাপ উচ্চ হইবার ফলাফল (Effect of high specific heat of water) :

কঠিন এবং তরল পদার্থের ক্ষেত্রে জলের আপেক্ষিক তাপ সর্বাপেক্ষা বেশী। জলের এই আপেক্ষিক তাপকে সংখ্যায় 1 ধরা হয়। অন্যান্য কঠিন এবং তরল বস্তুর আপেক্ষিক তাপ 1-এর ভগ্নাংশ। এই কারণে—

(1) শীতপ্রধান দেশে ঘরের মধ্যে গরম জলের নল ঘরটিকে দীর্ঘসময় উষ্ণ রাখিতে পারে। কারণ জলের আপেক্ষিক তাপ অধিক হওয়ায় নলের গরম জলের মধ্যে তাপের পরিমাণ অধিক সঞ্চিত থাকে। অনুরূপ কারণে গরম জলের বোতল কিংবা গরম জলের ব্যাগ (Hot-water bag) দীর্ঘসময় গরম থাকে।

(2) জলের আপেক্ষিক তাপ স্থল অপেক্ষা অধিক। কাজেই দিনের বেলায় স্থলভাগ যত দ্রুত উত্তপ্ত হয়, রাত্রিতে আবার উহা তত দ্রুত শীতল হয়। কিন্তু জলের পক্ষে এরূপ তাড়াতাড়ি উষ্ণ বা শীতল হওয়া সম্ভব হয় না। এই কারণে স্থলবায়ু এবং সমুদ্র-বায়ুর সৃষ্টি হয় (ইহার সম্বন্ধে পরে বিস্তারিত আলোচিত হইয়াছে)। এই স্থল-বায়ু এবং সমুদ্র-বায়ুর প্রবাহের ফলে সমুদ্রতীরস্থ স্থানগুলি নাতিশীতোষ্ণ থাকে।

6·15. লীন-তাপের অর্থ (Meaning of Latent heat) :

Latent শব্দের অর্থ লুক্কায়িত। সাধারণতঃ তাপগ্রহণে বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। কিন্তু যখন এরূপ অবস্থার সৃষ্টি হয় যে, বস্তু তাপ গ্রহণ করে কিন্তু উহার তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায় না, তখন ঐ তাপ বস্তুর লুক্কায়িত বা লীন-তাপ হিসাবে বিবেচিত হয়। এই লীন-তাপের নিদর্শন পাই যখন কঠিন বস্তু তরলে এবং তরল পদার্থ বাষ্পে রূপান্তরিত হয়। বস্তুর এই উভয় প্রকারের অবস্থান্তর-কালীন গৃহীত তাপকে সাধারণভাবে লীন-তাপ বলিয়া আখ্যা দেওয়া হয়।

গলনের লীন-তাপের সংজ্ঞা (Latent heat of fusion)—তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিয়া একক ভরের কঠিন বস্তুর গলনে যে পরিমাণ তাপ প্রয়োজন হয়, উহাকে ঐ বস্তুর গল[illegible] লীন-তাপ [illegible]।

[illegible]মাত্রা অপরিবর্তিত রাখিয়া 1 গ্রাম ভরের বস্তু গলাইবার [illegible] ক্যালরি তাপ প্রয়োজন হয় উহা নির্দেশ করে C.G.S. পদ্ধতিতে ঐ বস্তুর গলনের [illegible] সুতরাং C.G.S. পদ্ধতিতে লীন-তাপ প্রকাশ করা হয় ক্যালরি প্রতি গ্রামে।

অনুরূপভাবে F.P.S. পদ্ধতিতে গলনের লীন-তাপ নির্দেশিত হয় ব্রিটিশ থার্মাল একক প্রতি পাউণ্ডে।

উদাহরণ হিসাবে, C.G.S. পদ্ধতিতে বরফ-গলনের লীন-তাপ 80 ক্যালরি প্রতি গ্রামে (80 cal./gm.) এবং F.P.S. পদ্ধতিতে উহা 144 ব্রিটিশ থার্মাল একক প্রতি পাউণ্ডে (144 B.Th.U./lb.) নির্দেশিত হইয়া থাকে। স্মরণ রাখিবে উক্তি দুইটি তাৎপর্যপূর্ণ।

প্রথম উক্তিটি নির্দেশ করে, 0°C তাপমাত্রার 1 গ্রাম বরফ গলিয়া 0°C তাপমাত্রার 1 গ্রাম জলে রূপান্তরিত হইতে 80 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয় এবং বিকল্পে 0°C তাপমাত্রার 1 গ্রাম জল জমিয়া 0°C তাপমাত্রার 1 গ্রাম বরফে রূপান্তরিত হইতে 80 ক্যালরি তাপ নিষ্কাশন প্রয়োজন হয়।

দ্বিতীয় উক্তিটি অনুরূপভাবে নির্দেশ করে, 0°C তাপমাত্রার 1 পাউণ্ড বরফ উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকিয়া গলিতে 144 ব্রিটিশ থার্মাল একক তাপের প্রয়োজন হয় এবং বিকল্পে 0°C তাপমাত্রার 1 পাউণ্ড জল উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকিয়া বরফে রূপান্তরিত হইতে 144 ব্রিটিশ থার্মাল একক তাপের নিষ্কাশন প্রয়োজন।

তরলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ (Latent heat of vaporisation of liquid)—তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিয়া একক ভরের তরল পদার্থের বাষ্পীভবনে যে পরিমাণ তাপ প্রয়োজন হয়, উহাকে ঐ তরলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ বলা হয়।

C.G.S. পদ্ধতিতে তরলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ প্রকাশ করা হয় ক্যালরি প্রতি গ্রামে এবং F.P.S. পদ্ধতিতে ঐ লীন-তাপ প্রকাশিত হয় ব্রিটিশ থার্মাল একক প্রতি পাউণ্ডে।

উদাহরণ হিসাবে, জলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ C.G.S পদ্ধতিতে 537 ক্যালরি প্রতি গ্রাম এবং F.P.S. পদ্ধতিতে 966·6 ব্রিটিশ থার্মাল একক প্রতি পাউণ্ডে (966 6 B.Th.U./lb.) নির্দেশিত হইয়া থাকে। বরফের গলন-কালীন লীন-তাপের ন্যায় এই বাষ্পীভবনের লীন-তাপ সম্পর্কে উক্তি দুইটিও বিশেষ তাৎপর্যপূর্ণ।

এক্ষেত্রে, প্রথম উক্তিটি নির্দেশ করে, 100°C তাপমাত্রার 1 গ্রাম বিশুদ্ধ জল 100°C তাপমাত্রার বাষ্পে পরিণত হইতে 537 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয় এবং বিকল্পে 100°C তাপমাত্রার 1 গ্রাম জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া 100°C তাপমাত্রার 1 গ্রাম জলে পরিণত হইতে 537 ক্যা[illegible] প্র[illegible]য়।

[illegible] উক্তিটি অনুরূপভাবে নির্দেশ করে, 100°C তাপমাত্রা[illegible] [illegible]উণ্ড [illegible]পমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিয়া বাষ্পে পরিণত হইতে 966·6 ব্রিটিশ থার্মাল একক [illegible]প প্রয়োজন হয় এবং বিকল্পে 100°C তাপমাত্রার 1 পাউণ্ড জলীয় বাষ্প

তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিয়া জলে ঘনীভূত হইতে 966·6 ব্রিটিশ থার্মাল একক তাপ নিষ্কাশন প্রয়োজন হয়।

উদাহরণ। (1) C.G.S. পদ্ধতিতে বরফ-গলনের লীন-তাপ 80 ক্যালরি প্রতি গ্রাম এবং 100°C তাপমাত্রার বিশুদ্ধ জলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ 537 ক্যালরি প্রতি গ্রাম। উহাদের মান F.P.S. পদ্ধতিতে নির্ণয় কর। [In C.G.S., latent heat of fusion of ice 80 cal./gm. and latent heat of vaporisation of water at 100°C, 537 cal./gm. Calculate their corresponding values in F.P.S.]

উত্তর। আমরা জানি, 1 lb. (এক পাউণ্ড) = 453·6 gms.,

এক ব্রিঃ থাঃ একক (B.Th.U.) = 252 cal.,

0°C তাপমাত্রার 1 gm. বরফ গলাইতে 80 cal. তাপ প্রয়োজন,

সুতরাং, 0°C „ 453·6 gm. „ „ 453·6 × 80 cal. তাপ প্রয়োজন

$= \frac{453·6 \times 80}{252}$ B.Th.U. একক তাপ প্রয়োজন

= 144 B.Th.U. তাপ প্রয়োজন।

সুতরাং F.P.S. পদ্ধতিতে বরফ-গলনের লীন-তাপ 144 B.Th.U.

আবার, 100°C তাপমাত্রার 1 gm. জল বাষ্পীভবনে 537 cal. তাপ প্রয়োজন,

সুতরাং, 100°C তাপমাত্রার 453·6 gms. জল বাষ্পীভবনে 453·6 × 537 cal. „ „

$= \frac{453·6 \times 537}{252} = 966·6$ B.Th.U. তাপ প্রয়োজন।

অতএব, F.P.S. পদ্ধতিতে বরফ-গলনের লীন-তাপ 144 B.Th.U. প্রতি পাউণ্ড এবং জলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ 966·6 B.Th.U. প্রতি পাউণ্ড।

(2) −10°C তাপমাত্রার 10 gms. বরফ 100°C তাপমাত্রার 10 gms. বাষ্পে পরিণত করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় তাহা নির্ণয় কর। বরফের আপেক্ষিক তাপ = ·5 ; বরফ-গলনের লীন-তাপ = 80 cal. এবং জলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ = 537 cal.। [Calculate the amount of heat necessary for converting 10 gms. of ice at −10°C to 10 gms. of steam at 100°C. Given, sp. heat of ice = ·5 ; latent heat of fusion of ice = 80 cal./gm. and latent heat of vap[illegible]sation of water = 537 cal./gm.]

উত্তর। [illegible] কর, H_1 = 10 gms. বর[illegible] −10°C হইতে 0°C-এ উন্নীত করিতে প্রয়োজ[illegible]

$= 10 \times [0 - (-10)] \times ·5$

$= 10 \times 10 \times ·5 = 50$ cal. ;

H_2 = 0°C তাপমাত্রার 10 gms. বরফের গলনের প্রয়োজনীয় তাপ

= 10 × গলনের লীন-তাপ = 10 × 80 = 800 cal. ;

H_3 = 0°C তাপমাত্রার 10 gms. জলকে 100°C-এ উন্নীত করিতে প্রয়োজনীয় তাপ

= 10 × 100 = 1000 cal. ;

H_4 = 100°C তাপমাত্রার 10 gms. জলের বাষ্পীভবনে প্রয়োজনীয় তাপ

= 10 × 537 = 5370 cal.

সুতরাং, মোট তাপ $H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4$

= 50 + 800 + 1000 + 5370 = 7220 cal.

6·16. মিশ্রণ পদ্ধতিতে (Method of mixture) বরফ-গলনের লীন-তাপ নির্ণয়ঃ

পদ্ধতিঃ শুষ্ক ও পরিষ্কৃত একটি ক্যালরিমিটার আলোড়কসহ ওজন কর। মনে কর, এই ওজন m_1 gms.। অতঃপর শীতল জল ($\theta°_1$C, মনে কর) দ্বারা ঐ ক্যালরিমিটারের $\frac{2}{3}$ অংশ পূর্ণ করিয়া পূর্বের ন্যায় ওজন কর। মনে কর, এই ওজন m_2 gms.। এখন ক্যালরিমিটারটি একখণ্ড ফ্লানেলের উপর বসাইয়া কয়েক টুকরা শুষ্ক বরফ ক্যালরিমিটারের জলে ছাড়িয়া দাও। আলোড়কের সাহায্যে ঐ টুকরাগুলি চাপিয়া রাখ এবং আস্তে আস্তে জল নাড়িতে থাক। এই প্রক্রিয়া চালাও যেপর্যন্ত সমগ্র বরফ গলিয়া না যায় এবং ক্যালরিমিটারে অবস্থিত থার্মোমিটার-পাঠ স্থির সর্বনিম্ন তাপমাত্রা নির্দেশ করে। মনে কর, এই চরম তাপমাত্রা θ°C। পরিশেষে ক্যালরিমিটারটি সামগ্রীসহ পরীক্ষাগারের তাপমাত্রায় (θ_1°C) উন্নীত হইলে উহার ওজন লও। মনে কর, এই ওজন m_3 gms.।

গণনাঃ বর্ণিত পদ্ধতি হিসাবে,

শীতল জলের ভর = $m_2 - m_1 = m$ gms., (ধর)

গৃহীত বরফের ভর = $m_3 - m_2 = M$ gms., (ধর)

জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা = θ_1°C,

জলের চরম তাপমাত্রা = θ°C,

আলোড়কসহ ক্যালরিমিটারে জল-সম = W, (জানা আছে);

[illegible]র গলনের লীন-তাপ = L. (নির্ণয় করিতে হইবে)

[illegible]ক্ষেত্রে, বরফ তাপ গ্রহণ করে এবং ক্যালরিমিটার ও জল তাপ বর্জন করে।

বরফের গৃহীত তাপ = বরফ-গলনের তাপ + ঐ গলিত বরফের θ°C-এ উন্নীত হইতে প্রয়োজনীয় তাপ = $ML + M\theta$;

ক্যালরিমিটারের বর্জিত তাপ = $W(\theta_1 - \theta)$;

উহার অভ্যন্তরের জলের বর্জিত তাপ = $m(\theta_1 - \theta)$ ।

(মোট গৃহীত তাপ) = (মোট বর্জিত তাপ) ।

সুতরাং, $ML + M\theta = (m + W)(\theta_1 - \theta)$;

অতএব, $L = \frac{(m + W)(\theta_1 - \theta)}{M} - \theta.$

যখন আলোড়কসহ ক্যালরিমিটারের উপাদান S' (মনে কর) জানা থাকে তখন এই সমীকরণটি লিখা হয়,

$$L = \frac{(m + m_1 S')(\theta_1 - \theta)}{M} - \theta.$$

উদাহরণ। বরফ-গলনের লীন-তাপ মাপিবার মিশ্রণ-পদ্ধতি অনুযায়ী নিম্নলিখিত তথ্যগুলি পাওয়া গেল। ইহার সাহায্যে বরফ-গলনের লীন-তাপ নির্ণয় কর।

আলোড়কসহ ক্যালরিমিটারের ভর, $m_1 = 50$ gms.,

শীতল জলসহ আলোড়ক এবং ক্যালরিমিটারের ভর, $m_2 = 150$ gms.,

পরীক্ষান্তে গলিত বরফসহ ক্যালরিমিটার, আলোড়ক

এবং শীতল জলের ভর, $m_3 = 160$ gms.,

ক্যালরিমিটারের জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা, $\theta_1 = 30$°C,

পরীক্ষান্তে তাপমাত্রা, $\theta = 20 \cdot 5$°C,

আলোড়কসহ ক্যালরিমিটার উপাদানে আপেক্ষিক তাপ, $s' = \cdot 1$.

উত্তর। প্রশ্নানুযায়ী—

ক্যালরিমিটারে গৃহীত শীতল জলের ভর, $m = m_2 - m_1 = 150 - 50 = 100$ gms.

" " বরফের ভর, $M = m_3 - m_2 = 160 - 150 = 10$ gms.

সুতরাং, 6·16 অনুচ্ছেদের সমীকরণ অনুযায়ী—

$$L = \frac{(m + m_1 s')(\theta_1 - \theta)}{M} - \theta$$

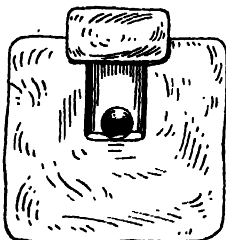
$$= \frac{(100 + 50 \times \cdot 1)(30 - 20 \cdot 5)}{10} - 20 \cdot 5$$

$$= \frac{[illegible] \times 9 \cdot 5}{10} - 20 \cdot 5 = 79 \cdot 25 \text{ cal./gm.}$$

6·17. ব্ল্যাক-এর বরফ-ক্যালরিমিটার (Black's Ice-calorimeter): এই যন্ত্র একাধিক কার্যে ব্যবহৃত হয়: যথা—(i) কোন তাপের [illegible] বা

বস্তুর তাপমাত্রা নির্ণয় ; (ii) কোন বস্তুর আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় ; (iii) বরফের লীন-তাপ নির্ণয়, ইত্যাদি।

6D চিত্রে এই যন্ত্রটি দেখানো হইল। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, ইহা একটি চৌকা আকৃতির পুরু বরফখণ্ড এবং ইহার অভ্যন্তরে গর্ত কাটা থাকে। গর্তের খোলা মুখ ঢাকিবার জন্য আর একখণ্ড বরফ ব্যবহৃত হয়।



চিত্র 6D

কার্যপদ্ধতি—মনে কর, (i) কোন জ্বলন্ত চুল্লীর তাপমাত্রা (θ°C) নির্ণয় করিতে হইবে। এক্ষেত্রে এমন একখণ্ড সাহায্যকারী ধাতব পদার্থ লও, যাহা চুল্লীর তাপমাত্রায় গলিয়া যাইবে না এবং যাহার ভর (m gms.) ও আপেক্ষিক তাপ (S) জানা আছে। এই বস্তুখণ্ড চুল্লীতে রাখিয়া উত্তপ্ত কর। যখন চুল্লীর তাপমাত্রায় উত্তপ্ত হয় তখন উহা চুল্লী হইতে সরাইয়া দ্রুত বরফ-ক্যালরিমিটারের গর্তে ছাড়িয়া দাও এবং গর্তের মুখ বরফ-চাপা দাও। কিছুক্ষণ পরে যখন বস্তুখণ্ড বরফের তাপমাত্রায় আসে তখন ঢাকনা সরাইয়া গর্তের বরফ-গলা জল পিপেটের সাহায্যে টানিয়া আন এবং উহার ওজন লও। মনে কর, এই ওজন Mgms. এবং মনে কর, বরফ-গলনের লীন-তাপ L (জানা আছে)।

ক্যালরিমিতির নীতি অনুযায়ী,

উত্তপ্ত সাহায্যকারী বস্তুর বর্জিত তাপ = বরফ-গলনে গৃহীত তাপ।

সুতরাং, $ms\theta = ML.$

$$\therefore \quad \theta = \frac{ML}{ms}.$$

(ii) অতঃপর মনে কর, কোন বস্তুর আপেক্ষিক তাপ বরফ-ক্যালরিমিটারের সাহায্যে নির্ণয় করিতে হইবে। এক্ষেত্রে, পরীক্ষাধীন বস্তু (আপেক্ষিক তাপ S, মনে কর) ওজন করিয়া কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় উত্তপ্ত কর। মনে কর, উহার ওজন m gms. এবং তাপমাত্রা θ°C। এখন এই উত্তপ্ত বস্তু (i) পরীক্ষার ন্যায় বরফ-ক্যালরিমিটারের গর্তে স্থাপন করিয়া গলিত বরফ সংগ্রহ কর এবং উহার ওজন লও। মনে কর, এই ওজন M gms. এবং বরফ-গলনের লীন-তাপ L (জানা আছে)।

এক্ষেত্রে, পরীক্ষাধীন বস্তুর বর্জিত তাপ = বরফ-গলনে গৃহীত তাপ।

সুতরাং, $ms\theta = ML$

অথবা, $s = \frac{ML}{m\theta}.$

(iii) পরিশেষে, মনে কর, এ যন্ত্রের সাহায্যে বরফ-গলনের লীন-তাপ নির্ণয় করিতে হইবে। এক্ষেত্রে, কোন উপযুক্ত সাহায্যকারী বস্তু লও ; উহার ওজন (m gms.) এবং আপেক্ষিক তাপ (s) জানা আছে। এই বস্তুখণ্ডকে নির্দিষ্ট তাপমাত্রার (মনে কর, θ°C) উত্তপ্ত করিয়া বরফ-ক্যালরিমিটারে ছাড়িয়া দাও। অতঃপর বরফ-গলা জল সংগ্রহ করিয়া উহার ওজন লও (M gms., মনে কর)।

এক্ষেত্রে, বরফ-গলনে গৃহীত তাপ = সাহায্যকারী উত্তপ্ত বস্তুর বর্জিত তাপ।

স্বতরাং, $ML = ms\theta$

অথবা, $L = \frac{ms\theta}{M}$

উদাহরণ। মনে কর, ·11 আপেক্ষিক তাপের 250 gms. ভরের একখণ্ড ধাতু 100°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিয়া উহা বরফ-ক্যালরিমিটারে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। যদি ইহাতে 34·5 gms. বরফ গলিয়া যায়, তাহা হইলে বরফ গলনের লীন-তাপ নির্ণয় কর। [Suppose, a piece of metal of sp. heat. ·11 and mass 250 gms. is heated to a temperature of 100°C and dropped into an ice-calorimeter. If ice of mass 34·5 gms. is melted thereby, then calculate the latent heat of fusion of ice.]

উত্তর। এক্ষেত্রে ধাতব খণ্ডের ভর, $m = 250$ gms. ;

উহার আপেক্ষিক তাপ, $s = ·11$;

উহার তাপমাত্রা, $\theta = 100$°C ;

গলিত বরফের ভর, $M = 34·5$ gms.

মনে কর, বরফ-গলনের লীন-তাপ = L.

6·17 অনুচ্ছেদের 3নং সমীকরণ অনুযায়ী,

$$L = \frac{m.s.\theta}{M} = \frac{250 \times ·11 \times 100}{34·5} = \frac{2750}{34·5} = 79·7 \text{ calories/gm.}$$

কয়েকটি পদার্থের গলনের লীন-তাপের তালিকা

পদার্থ	লীন-তাপ (ক্যালরি প্রতি গ্রামে)
বরফ (Ice)	80
দস্তা (Zinc)	28·13
সীসা (Lead)	5·86
রূপা (Silver)	21·07
টিন (Tin)	14·0
পারদ (Mercury)	2·82

সারাংশ

তাপের বিভিন্ন একক—

(ক) ক্যালরি—সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে তাপের একককে বলা হয় ক্যালরি। এক গ্রাম বিশুদ্ধ জলের 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, উহাকে এক ক্যালরি বলে।

(খ) ব্রিটিশ থার্মাল একক (B. Th. U.)—এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে তাপের একককে বলা হয় ব্রিটিশ থার্মল একক। এক পাউণ্ড বিশুদ্ধ জলকে 1°F তাপমাত্রায় উন্নীত করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, উহাকে ব্রিটিশ থার্মাল একক বলে।

(গ) থার্ম—এক থার্ম = 100,000 ব্রিঃ থাঃ একক (B. Th. U.) ;

1 বৃটিশ থার্মাল একক = 252 ক্যালরি ;

বস্তুর আপেক্ষিক তাপ

$$= \frac{\text{বস্তুর নির্দিষ্ট ভরের নির্দিষ্ট তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{ঐ ভরের বিশুদ্ধ জলের ঐ নির্দিষ্ট তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে প্রয়োজনীয় তাপ}}$$

সুতরাং, নির্দিষ্ট ভর যখন ধরা হয় 1 gm. এবং তাপমাত্রা-বৃদ্ধি যখন ধরা হয় 1°C তখন বস্তুর আপেক্ষিক তাপ নির্দেশ করে বস্তুর 1 gm. ভরের 1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করিতে প্রয়োজনীয় তাপ।

C. G. S. পদ্ধতিতে কোন বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসে গৃহীত বা বর্জিত তাপের পরিমাণ $H = m \times s \times \theta$ ক্যালরি। এক্ষেত্রে বস্তুর ভর m gm., আপেক্ষিক তাপ s এবং তাপমাত্রা-বৃদ্ধি বা হ্রাস θ°C। বস্তুর তাপগ্রহণ ক্ষমতা বা তাপগ্রাহিতা (C) : কোন বস্তুর এক ডিগ্রী উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, উহাকে ঐ বস্তুর তাপ-গ্রহণ ক্ষমতা বলে।

বস্তুর তাপগ্রাহিতা, $C = m$ (বস্তুর ভর in gm.) $\times s$ (আপেক্ষিক তাপ) $\times$ (1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি) $= ms$ ক্যালরি।

বস্তুর জল-সম বা তুল্যজলাঙ্ক (W) : কোন বস্তুর 1°C তাপমাত্রা-বৃদ্ধির জন্য যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন ঐ তাপে যত গ্রাম জলের 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে পারে ঐ পরিমাণ জলকে বলা হয় বস্তুটির জল-সম বা তুল্য-জলাঙ্ক।

বস্তুর জল-সম (W) = $m \times S$ gms.

ক্যালরিমিতিক গণনার মূল ভিত্তি : A এবং B এই দুইটি বস্তুর ভিতর A-এর তাপমাত্রা B এর অপেক্ষা অধিক হইলে ক্যালরিমিতিক সূত্র অনুযায়ী

[illegible]স্তুর দ্বারা পরিত্যক্ত তাপের পরিমাণ = B বস্তুর দ্বারা গৃহীত তাপের পরিমাণ।

[illegible]ণ-পদ্ধতিতে কঠিন এবং তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ সাধারণতঃ রেনো-র যন্ত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা হয়।

বস্তুর গলনের লীন-তাপের সংজ্ঞা ঃ—তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রাখিয়া এক একক ভরের কোন কঠিন বস্তু গলাইবার জন্য যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, উহাকে ঐ বস্তুর গলনের লীন-তাপ বলা হয়।

সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে বরফের গলনের লীন-তাপ 80 ক্যালরি এবং এফ্. পি. এস্ পদ্ধতিতে বরফের গলনের লীন-তাপ 144 ব্রিটিশ থার্মাল একক।

বাষ্পীভবনের লীন-তাপ—তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রাখিয়া একক ভরের তরলকে বাষ্পে পরিণত করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন, উহাকে ঐ তরলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ বলে।

জলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ 537 ক্যালরি। মিশ্রণ-পদ্ধতিতে এবং ব্ল্যাকের বরফ-ক্যালরিমিটারের সাহায্যে বরফ-গলনের লীন-তাপ ইত্যাদি নির্ণয় করিতে পারা যায়।

প্রশ্নমালা

(1) নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা দাও (Define the following) ঃ—

ক্যালরি (Caloric) ; বৃটিশ থার্মাল একক (B. Th. U.) ; থার্ম (Therm) ; আপেক্ষিক তাপ (Specific heat) এবং বস্তুর তাপগ্রহণ ক্ষমতা ও জল-সম (Thermal capacity and water-equivalent of a body)।

(2) নিম্নলিখিত উক্তিগুলির তাৎপর্য বুঝাইয়া দাও ঃ—

(i) তামার আপেক্ষিক তাপ ·092।

(ii) জলের আপেক্ষিক তাপ পারদের আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা 30 গুণ অধিক।

(iii) এক পাউণ্ড লোহা এবং এক পাউণ্ড সীসা 100°C তাপমাত্রায় উষ্ণ করিয়া বরফের উপর রাখিয়া দিলে লোহা বরফের মধ্যে অধিক ডুবিয়া যায়।

[Explain the significance of the following statement :—

(i) Sp. heat of copper is ·092.

(ii) Sp. heat of water is 30 times as great as that of mercury.

(iii) When 1 lb. of iron and 1 lb. of lead are heated to 100°C and kept on ice iron sinks more into ice than lead.]

(3) বস্তুর তাপগ্রহণ ক্ষমতা এবং জল-সম উভয়ের মধ্যে পার্থক্য বুঝাইয়া দাও। আপেক্ষিক তাপ, তাপগ্রহণ ক্ষমতা এবং জল-সম এই রাশিগুলি কি কি এককে প্রকাশ করা [illegible] Distinguish between thermal capacity and [illegible] equivalent of a body. State the units used in expressing [illegible] thermal capacity and water-equivalent.]

(4) ক্যালরিমিতিক গণনার মূল ভিত্তি কি? ক্যালরিমিটার কাহাকে বলে? পরীক্ষাদ্বারা একটি ক্যালরিমিটারের জল-সম কিরূপভাবে নির্ণয় করা যায়? [What is the underlying principle of calorimetric calculations? What do you mean by a calorimeter? How would you determine the water-value of a calorimeter experimentally?]

(5) মিশ্রণ-পদ্ধতিতে কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক তাপ নিরূপণ করিবার একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। [Describe the practical determination of sp. heat of a solid by the method of mixture.]

(6) মিশ্রণ-পদ্ধতিতে তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ কিরূপে নির্ণয় করিতে পারা যায় তাহা পরীক্ষার সাহায্যে বর্ণনা কর। [Describe how by the method of mixture the sp. heat of a liquid may be determined.]

(7) বস্তুর লীন-তাপ বলিতে কি বোঝ? বস্তুর গলনের লীন-তাপ এবং বাষ্পীভবনকালীন লীন-তাপের সংজ্ঞা দাও। [What do you mean by latent heat of a substance? Define latent heat of fusion and latent heat of vaporisation of a substance.]

(8) নিম্নের উক্তি দুইটির অর্থ বুঝাইয়া দাও: (i) বরফের গলনের লীন-তাপ 80। (ii) জলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ কিংবা জলীয় বাষ্পের লীন-তাপ 537। [Explain clearly the following two statements : (i) Latent heat of fusion of ice is 80. (ii) Latent heat of vaporisation of water or latent heat of steam is 537.]

(9) মিশ্রণ-পদ্ধতিতে বরফের লীন-তাপ পরীক্ষার সাহায্যে কিরূপে নির্ণীত হয় তাহা বর্ণনা কর। [Describe how experimentally you would determine the latent heat of fusion of ice by the method of mixture.]

(10) একটি সহজ বরফ-ক্যালরিমিটার বর্ণনা কর এবং কি প্রকারে ইহার সাহায্যে নিম্নলিখিত রাশিগুলি নির্ণয় করা যায় তাহা বুঝাইয়া দাও: (i) কোন বস্তুর আপেক্ষিক তাপ, (ii) অত্যধিক উষ্ণ বস্তুর বা উৎসের তাপমাত্রা, (iii) বরফের গলনের লীন-তাপ। [Describe a simple form of ice-calorimeter and explain how with its help the following quantities may be determined : (i) Sp. heat of a substance ; (ii) High temperature of a body or a source of [illegible] (iii) Latent heat of fusion of ice.]

[illegible] একটি তামার পাত্রের জল-সম 60 gms. ; উহাতে 30°C তাপমাত্রার 600 [illegible]. জল রাখা হইল। জলসমেত ঐ পাত্রটি গরম করিবার জন্য একটি বুনসেন

বার্নার ব্যবহার করা হইল এবং এই বার্নারটি এরূপভাবে নিয়ন্ত্রিত যে, উহা প্রতি সেকেণ্ডে 100 ক্যালরি তাপ প্রদান করিতে পারে। অন্য কোনরূপে তাপের অপব্যবহার নাই এইরূপ ধরিয়া লইলে—(i) পাত্রস্থিত জলের তাপমাত্রা 100° সেন্টিগ্রেডে আসিতে কত সময় প্রয়োজন হইবে? (ii) ঐ জলের 50 gms. বাষ্পে পরিণত হইতে কত সময় প্রয়োজন হইবে (বাষ্পের লীন-তাপ 540 ক্যালরি)? [A copper vessel of water-equivalent 60 gms. contains 600 gms. of water at 30°C. A Bunsen burner, adjusted to supply 100 calories per second, is used to heat the vessel. Neglecting all losses, calculate (i) the time required to raise the water to boiling-point, (ii) the time required to boil away 50 gms. of water. (Latent heat of steam = 540 cal.)]

[*Ans.* (i) 7 মিনিট 42 সেকেণ্ড, (ii) 12 মিনিট 12 সেকেণ্ড]

[Hints—প্রশ্নের দ্বিতীয় অংশের ক্ষেত্রে মোট সময় = পাত্রস্থ জল 100°C তাপমাত্রায় আসিতে যে সময় + ঐ ফুটন্ত জলের 50 gms. বাষ্পে পরিণত হইতে যে সময়।]

(12) 0°C তাপমাত্রার 2 lbs. বরফ 45°C তাপমাত্রার 3 পাউণ্ড জলে স্থাপন করিলে কি ফল পরিলক্ষিত হইবে? [What will be the result if 2 lbs. of ice at 0°C is placed in 3 lbs. of water at 45°C?]

[*Ans.* আনুমানিক 1·7 পাউণ্ড বরফ গলিবে এবং 3 পাউণ্ড বরফ থাকিয়া যাইবে ও বরফ-মিশ্রিত জলের তাপমাত্রা 0°C-এ দাঁড়াইবে।]

(13) 90°C তাপমাত্রার 50 gms. লোহা (লোহার আপেক্ষিক তাপ ·112) একটি ক্যালরিমিটারের অভ্যন্তরস্থ ·5 আপেক্ষিক তাপের 50 gms. তেলের মধ্যে ছাড়িয়া দেওয়ায় উহাদের সাধারণ তাপমাত্রা 29°·5C দাঁড়াইল। যদি ক্যালরিমিটারটির জল-সম 4·8 gms. হয়, তাহা হইলে তেলের প্রাথমিক তাপমাত্রা কত তাহা নির্ণয় কর। [50 gms. of iron (sp. heat = ·112) at 90°C are dropped into a calorimeter containing 50 gms. of oil of sp. heat ·5. The final temperature of the mixture is 29°·5C. If the water-equivalent of the calorimeter is 4·8 gms., find the initial temperature of the oil.] [*Ans.* 18°·13C]

সপ্তম পরিচ্ছেদ

বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন (Change of state)

কঠিন হইতে তরলে

7·1. প্রাথমিক আলোচনা ঃ সাধারণতঃ যাবতীয় বস্তু আমরা তিন অবস্থায় দেখিতে পাই। যেমন—কঠিন, তরল এবং বায়বীয়। পৃথিবীর উষ্ণতায় যেসমস্ত পদার্থ কঠিন অবস্থায় থাকে তাহাকে আমরা কঠিন পদার্থ বলিয়া থাকি। যেমন—একখণ্ড লৌহ, একখণ্ড সীসা ইত্যাদি। পৃথিবীর উষ্ণতায় যেসমস্ত বস্তুকে তরল অবস্থায় দেখি তাহাদিগকে আমরা তরল পদার্থ বলিয়া থাকি। যেমন—জল, কোহল, পারদ ইত্যাদি। আবার যেসমস্ত পদার্থ বায়বীয় অবস্থায় থাকে, যথা—বায়ু, হাইড্রোজেন, নাইট্রোজেন, অক্সিজেন, আরগন ইত্যাদি, তাহাদিগকে আমরা বায়বীয় পদার্থ বলিয়া থাকি।

স্বাভাবিক অবস্থায় বস্তু যে অবস্থায় থাকুক না কেন, বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করিয়া কিংবা বস্তু হইতে তাপ অপসারণ করিয়া বস্তুর এক অবস্থা হইতে অন্য অবস্থায় পরিবর্তন করাকে বলা হয় **বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন।** যেমন, জল হইতে তাপ অপসারণ করিয়া আমরা জলকে বরফে পরিণত করিতে পারি। আবার জলে তাপ প্রয়োগ করিয়া উহাকে বাষ্পে পরিণত করিতে পারি।

7·2. পদার্থের গলন এবং গলনাঙ্ক (Melting and melting-point) ঃ

পদার্থের গলন—সাধারণতঃ একটি কঠিন বস্তুতে যদি ক্রমাগত তাপ প্রয়োগ করা যায় তাহা হইলে বস্তুটির তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাইতে থাকে। শেষপর্যন্ত ঐ তাপমাত্রা বর্ধিত হইয়া এমন একটি সীমায় আসিয়া পৌছায় যে, ঐ অবস্থাতে বস্তুটিতে আরও তাপ প্রয়োগ করিলে বস্তুটির তাপমাত্রা আর বৃদ্ধি পায় না ; কিন্তু বস্তুটি তখন গলিতে আরম্ভ করে, অর্থাৎ তরলে পরিবর্তিত হইতে আরম্ভ করে। এই অবস্থায় বস্তুটিতে যে তাপই প্রয়োগ করা হোক না কেন, উহার দ্বারা বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায় না। ঐ তাপ শুধু বস্তুর গলনকার্যেই ব্যয়িত হয়।

সুতরাং তাপ-প্রয়োগে যখন কোন কঠিন বস্তু তরলে পরিবর্তিত [illegible]রম্ভ করে, কিন্তু বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায় না তখন বস্তুর এই অব[illegible] পরিবর্তনকে বলা হয় কঠিন বস্তুর গলন।

কঠিন বস্তুর গলনাঙ্ক—**তাপ-প্রয়োগে কোন কঠিন বস্তু যে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় গলিতে আরম্ভ করে ঐ তাপমাত্রকে বলা হয় কঠিন বস্তুর গলনাঙ্ক।**

বিভিন্ন পদার্থের এই গলনাঙ্ক বিভিন্ন, যেমন—বায়ুর প্রমাণ চাপে (normal pressure of the atmosphere) বরফের গলনাঙ্ক 0°C, সীসার গলনাঙ্ক 327°C, টিনের গলনাঙ্ক 232°C ইত্যাদি।

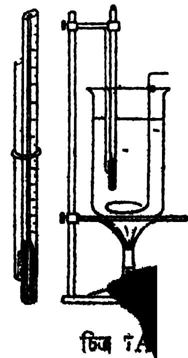
এক্ষেত্রে স্মরণ রাখিতে হইবে যে, তাপ প্রয়োগে কোন কঠিন বস্তুর যদি রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয় তাহা হইলে ঐ বস্তুর ক্ষেত্রে গলনের এই নিয়ম খাটিবে না। যেমন, একখণ্ড কয়লাকে যদি ক্রমাগত উত্তপ্ত করা হয় তাহা হইলে উহা পুড়িয়া যাইবে, কিন্তু গলিয়া যাইবে না। আবার কোন অনিয়তাকার কঠিন পদার্থ (Amorphous), যেমন কাচ, পিচ, মোম, লোহা ইত্যাদির কোন নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক নাই। কিন্তু যে তাপমাত্রায় ঐপ্রকারের বস্তু নমনীয় হইতে আরম্ভ করে এবং যে তাপমাত্রায় উহা পুরাপুরি গলিয়া যায়, ঐ দুইটি তাপমাত্রার গড়কে ধরা হয় অনিয়তাকার কঠিন বস্তুর গলনাঙ্ক।

সঙ্কর ধাতুর গলনাঙ্ক (Melting-point of alloys)—দুইটি মৌলধাতুর সংমিশ্রণে সঙ্কর ধাতু তৈয়ারী হয়। এই সঙ্কর ধাতুর গলনাঙ্ক সাধারণতঃ মৌলধাতু দুইটির গলনাঙ্ক অপেক্ষা কম হয়। উদাহরণস্বরূপ বলিতে পারি, পাঁচ ভাগ টিন এবং এক ভাগ সীসা লইয়া উহাদের মিশ্রণে যে সঙ্কর ধাতু (রাঙ ঝালাই) তৈয়ারী হয় উহার গলনাঙ্ক 194°C।

আমরা জানি টিনের গলনাঙ্ক 232°C এবং সীসার গলনাঙ্ক 327°C; কিন্তু উহাদের মিশ্রণে যে সঙ্কর ধাতু তৈয়ারী হয় তাহার গলনাঙ্ক উভয় ধাতুর গলনাঙ্ক অপেক্ষা কম।

7·3. কঠিন পদার্থের গলনাঙ্ক (Melting-point) নির্ণয়ঃ

(ক) কৈশিক নলের সাহায্যে (Capillary tube method)—ন্যাপ্থালীন, পামিটিক অ্যাসিড ইত্যাদির গলনাঙ্ক কৈশিক নলের সাহায্যে সাধারণতঃ নির্ণয় করা হয়। মনে কর, বর্তমান ক্ষেত্রে পরীক্ষাধীন বস্তু ন্যাপ্থালীন।


চিত্র 7A

কার্যপদ্ধতি—কিছু পরিমাণ ন্যাপ্থালীন একটি crucible-এ (মুচি আকারের পাত্র) গলাও। এখন দুই-মুখখোলা একটুকরা কাচের কৈশিক নলের একপ্রান্ত ঐ পাত্রের তরলে ডুবাইয়া কিছু পরিমাণ গলিত ন্যাপ্থালীন টানিয়া লও। অতঃপর নলের ঐ মুখ গলাইয়া বন্ধ কর। যখন কৈশিক নলের গলিত ন্যাপ্থালীন জমিয়া শক্ত হয়,

তখন ঐ নলটির সহিত একটি থার্মোমিটার বাঁধিয়া উহা আংশিক জলপূর্ণ একটি কাচের বীকারে স্থাপন কর (7A চিত্রে দ্রষ্টব্য)। লক্ষ্য রাখিবে, নলের জমানো ন্যাপ্থলীনসহ থার্মোমিটারের কুণ্ডটি যেন জলে নিমজ্জিত থাকে। অতঃপর বার্নারের সাহায্যে বীকারের জল আস্তে আস্তে উত্তপ্ত কর এবং আলোড়কের সাহায্যে পাত্রের জল নাড়িতে থাক। যখন কৈশিক নলের জমানো ন্যাপ্থালীন গলিয়া স্বচ্ছ হইতে আরম্ভ করে তখন তৎপরতার সহিত থার্মোমিটারের পাঠ লও। মনে কর, ইহা নির্দেশ করে θ_1°C। অতঃপর তাপ-প্রদান বন্ধ কর কিন্তু আলোড়কের সাহায্যে বীকারের জল নাড়িতে থাক। যখন নলের পদার্থ সম্পূর্ণ গলিয়া পুনরায় অস্বচ্ছ দেখাইতে আরম্ভ করে তখন আবার থার্মোমিটারের পাঠ লও। মনে কর, ইহা নির্দেশ করে θ_2°C। এই উভয় তাপমাত্রার গড়, $\frac{\theta_1+\theta_2}{2}=\theta°C$, নির্দেশ করে পরীক্ষাধীন বস্তুর গলনাঙ্ক।

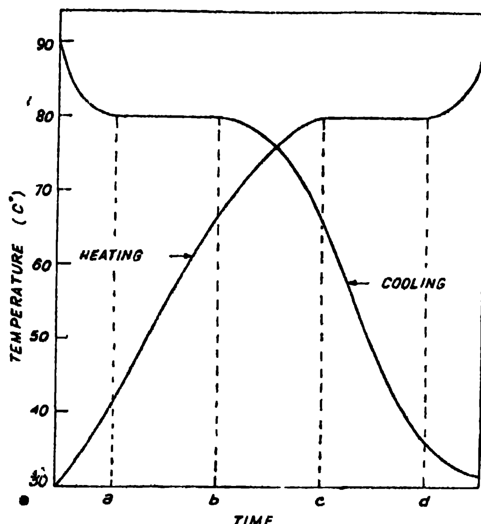
(খ) উষ্ণ ও শীতল লেখচিত্রের (Heating and cooling curve) সাহায্যে গলনাঙ্ক এবং হিমাঙ্ক নির্ণয়—পরীক্ষাধীন বস্তু অপেক্ষাকৃত অধিক পরিমাণে পাওয়া গেলে, লেখচিত্র পদ্ধতি বিশেষ কার্যকর। মনে কর, পরীক্ষাধীন বস্তু ন্যাপ্থালীন লওয়া হইল। পরিমাণমত ন্যাপ্থালীন গুঁড়া করিয়া উহা বড়মুখের একটি পরীক্ষা-নলের (Test tube) মধ্যে লও এবং ন্যাপ্থালীন গুঁড়া গলাইয়া উহার মধ্যে একটি থার্মোমিটারের কুণ্ড ডুবাও (7B চিত্র)। অতঃপর এই ব্যবস্থাপনাটি খাড়াভাবে একটি আংশিক জলপূর্ণ বীকারে স্থাপন কর (চিত্রে দেখানো হয় নাই)।


চিত্র 7B

কার্যপদ্ধতি—বর্ণিত ব্যবস্থার বীকারের জল আস্তে আস্তে উত্তপ্ত কর এবং উহা আলোড়কের সাহায্যে প্রতিনিয়ত নাড়িতে থাক। এইরূপ অবস্থায় প্রতি অর্ধ মিনিট অন্তর থার্মোমিটারের পাঠ লও। এই প্রক্রিয়া চালাইতে থাক যেপর্যন্ত পরীক্ষা-নলের সমগ্র পদার্থ গলিয়া না যায় এবং উহার তাপমাত্রা গলনাঙ্কের কিছু উর্ধ্বে না উঠে। অতঃপর তাপ-প্রয়োগ বন্ধ কর, কিন্তু পূর্বের ন্যায় বীকারের জল নাড়িতে থাক এবং প্রতি অর্ধমিনিট অন্তর থার্মোমিটারের পাঠ লও। এই প্রক্রিয়া চালাইতে হইবে যেপর্যন্ত পরীক্ষাধীন বস্তু পুনরায় জমিয়া না যায় এবং উহার তাপমাত্রা হিমাঙ্ক হইতে কিছু নীচে নামিয়া আসে।

এখন গলনকালীন সময়-উষ্ণতা লেখচিত্র (Heating graph) এবং কঠিনীভবন-

কালীন সময়-উষ্ণতা লেখচিত্র (Cooling graph) অঙ্কিত কর (7C চিত্র) চিত্রদৃষ্টে ইহা সুস্পষ্ট যে, প্রত্যেকটি লেখরই কিছু অংশ উহার ভুজের (এক্ষেত্রে সময়-অক্ষ) সমান্তরাল। সুতরাং ঐ অংশের কোন বিন্দুর কোটি-দৈর্ঘ্য (length of the ordinate) নির্দেশ করে পদার্থের গলনাঙ্ক এবং হিমাঙ্ক। আলোচ্য ক্ষেত্রে এই তাপমাত্রা দুইটি সমান।



চিত্র 7C

এই পদ্ধতির বিশেষ সুবিধা এই যে, পরীক্ষাধীন পদার্থ কখন গলিতে আরম্ভ করে কিম্বা কখন জমিতে আরম্ভ করে তাহা লক্ষ্য করিবার প্রয়োজন হয় না।

বিভিন্ন পদার্থের গলনাঙ্কের তালিকা

পদার্থ	গলনাঙ্ক	পদার্থ	গলনাঙ্ক
প্লাটিনাম (Platinum)	1755°C	টিন বা রাং (Tin)	232°C
ঢালাই লৌহ (Cast iron)	1200°C (আনুঃ)	গন্ধক (Sulphur)	115°C
তামা (Copper)	1003°C	ন্যাপথালীন (Napthalene)	80°C
সোনা (Gold)	1063°C	মোম (Paraffin wax)	52°—58°C
রূপা (Silver)	960°C	পারদ (Mercury)	−39°·5C
পিতল (Brass)	1000°C	বরফ (Ice)	0°C
দস্তা (Zinc)	419°C	সালফিউরিক অ্যাসিড (Sulphuric acid)	10°·3C
সীসা (Lead)	327°C	পামিটিক অ্যাসিড (Palmitic acid)	62°·6C

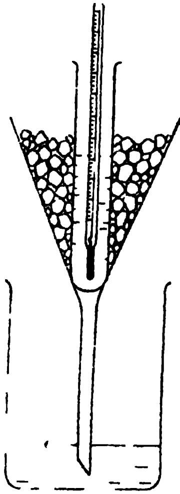
7·4. তরল পদার্থের কঠিনীভবন (Solidification) এবং হিমাঙ্ক (Freezing-point) :

তাপ-অপসারণে যখন কোন তরল পদার্থ কঠিনে পরিবর্তিত হয় … তাপমাত্রা হ্রাস পায় না তখন তরলের এই অবস্থাকে বলা হয় তরলের কঠিনী…

যে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায তবল কঠিনে পবিবর্তিত হইতে থাকে, উহাকে বলা হয **তরলের হিমাঙ্ক।**

জল ইত্যাদিব ক্ষেত্রে হিমাঙ্ক এবং গলনাঙ্ক একই তাপমাত্রা নির্দেশ কবে। কোন কোন ক্ষেত্রে এই তাপমাত্রা দুইটি ঠিক এক হয না। নিম্নেব পবীক্ষাব সাহায্যে কঠিনীভবন এবং হিমাঙ্ক বুঝানো হইল।

পরীক্ষা—একটি বডমুখেব পবীক্ষা নলে (Test tube) কিছু পবিমাণ বিশুদ্ধ জল লইযা উহা একটি বড ফানেলে (Funnel) স্থাপন কব। পবীক্ষা-নলেব যে অংশ ফানেলে অবস্থিত উহা হিম-মিশ্রণ (ববফ-কুচা ও লবণ মিশ্রণ) দ্বাবা ঢাকিযা দাও (7D চিত্র)। যেহেতু হিম-মিশ্রণেব তাপমাত্রা ববফেব তাপমাত্রা অপেক্ষা অনেক কম, সুতবাং উহা পবীক্ষা নলেব জলেব তাপ ক্রমাগত অপসারণ কবিতে থাকে। ইহাব ফলে পবীক্ষা-নলে অবস্থিত থার্মোমিটাবেব পাঠ (চিত্র দেখ) ক্রমাগত নামিযা আসে এবং শেষ-পর্যন্ত উহা 0°C পাঠে স্থিব হয। **এই অবস্থায় তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিয়া পরীক্ষাধীন জল জমিতে থাকে। ইহাকেই বলা হয় জলের কঠিনীভবন।**



চিত্র 7D

কঠিনীভবনকালীন জলের স্থির তাপমাত্রা (0°C) নির্দেশ করে জলের হিমাঙ্ক।

দ্রবণের হিমাঙ্ক (Freezing-point of a solution)—লবণজাতীয কোন বস্তু, যেমন সাধাবণ লবণ (Common salt), অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট (Ammonium nitrate) ইত্যাদি বিশুদ্ধ জলে গলাইলে ঐ লবণ-গলা জল অর্থাৎ দ্রবণেব হিমাঙ্ক বিশুদ্ধ জলের হিমাঙ্ক অপেক্ষা কমিযা যায়। যেমন, সাধারণ লবণের দ্রবণ বিশুদ্ধ জলের হিমাঙ্ক (0°C) অপেক্ষা 2°C তাপমাত্রা কম পবিলক্ষিত হয়।

7·5. গলন এবং কঠিনীভবনে পদার্থের আয়তনের পরিবর্তন: অধিকাংশ ক্ষেত্রেই কঠিন বস্তু গলিলে উহার আয়তন বৃদ্ধি হয এবং ঐ তবল জমিয়া কঠিন হইলে উহাব আযতন কমিয়া যায। কিন্তু কোন কোন ক্ষেত্রে ইহাব ব্যতিক্রম পবিলক্ষিত হয়, যেমন—জল, ঢালাই লোহা ইত্যাদি।

পরীক্ষাদ্বারা দেখা গিযাছে, যদি 11 c.c. জল 0°C তাপমাত্রায় জমিয়া বরফ হয়, তাহা হইলে ঐ জমানো জলের (অর্থাৎ বরফের) আয়তন প্রায় 12 c.c. হইয়া থাকে। জল জমিয়া বরফ হইলে উহার আয়তন শতকরা নয় ভাগ (9%) বৃদ্ধি পায়। ঢালাই লোহার ক্ষেত্রে অনুরূপ পরিবর্তন শতকরা সাত ভাগ হইয়া থাকে।

7·6. গলন এবং কঠিনীভবনে বস্তুর আয়তন পরিবর্তনের সুবিধা এবং অসুবিধা ঃ

সুবিধা -ঢালাই লোহা, পিতল ইত্যাদি গলিত অবস্থা হইতে জমিয়া কঠিন হইলে উহাদের আয়তনের বৃদ্ধি হয়। একারণে ঐসমস্ত ধাতু সুবিধাজনকভাবে ঢালাই (Casting) কাজে ব্যবহার করা হয়।

এইপ্রকারের গলিত ধাতু ছাঁচের মধ্যে ঢালিলে উহা জমিয়া আয়তনে বৃদ্ধি পায এবং ছাঁচের অভ্যন্তরে অত্যধিক চাপ বৃদ্ধি পায়। কাজেই ছাঁচে অঙ্কিত প্রতিটি ছাপ ঐ জমানো ধাতব পদার্থের গাযে অতি সুস্পষ্টভাবে অঙ্কিত হয়। অক্ষর তৈয়ারী করিবার কারখানায় (Type foundry) এই নীতি অনুসৃত হইযা থাকে।

অসুবিধা—জল জমিয়া বরফ হইলে আয়তনের বৃদ্ধি হয। একারণে অত্যধিক শীতে শীতপ্রধান অঞ্চলে জল-সরবরাহকারী নলের জল জমিযা বরফ হইলে প্রচণ্ড চাপের সৃষ্টি হয় এবং ঐ নল অনেকসময় ফাটিয়া যায।

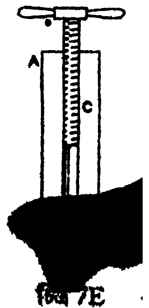
অত্যধিক শীতে পাহাড অঞ্চলেবজল জমিয়া বরফ হইলে পাহাডের বিভিন্ন স্থানে ফাটলেব সৃষ্টি করে।

অনুরূপ কারণে দৃঢ স্ক্রু-আঁটা পাতলা ঢালাই লোহার জলপূর্ণ বোতলের জল জমাইযা বরফ করিবার সময উহা ফাটিযা যাইতে দেখা যায।

7·7. বস্তুর গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব ঃ যেসমস্ত কঠিন পদার্থেব গলনে আয়তন বৃদ্ধি হয়, উহাদের ক্ষেত্রে চাপবৃদ্ধিতে গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়।

আবার যেসমস্ত পদার্থের গলনে আয়তন কমিয়া যায় (যেমন বরফ), সেইসকল পদার্থের ক্ষেত্রে চাপবৃদ্ধিতে গলনাঙ্ক কমিযা যায়। উদাহবণ হিসাবে, উল্লেখ করা যায়, বায়ুর প্রমাণ চাপে বরফের গলনাঙ্ক 0°C। কিন্তু উহার উপর যদি বায়ুর প্রমাণ চাপের দ্বিগুণ চাপ প্রয়োগ করা হয় তাহা হইলে বরফের গলনাঙ্ক 0°C তাপমাত্রা হইতে – ·0075°C তাপমাত্রায় নামিযা আসে।

মাউসন-এর পরীক্ষা (Mousson's experiment)—এই পরীক্ষার সাহায্যে চাপবৃদ্ধিতে বরফের গলনাঙ্ক হ্রাসের প্রমাণ করা হয়। 7E চিত্রে মাউসন-এর যন্ত্র দেখানো হইয়াছে। ইহা একটি শক্ত লোহার চোঙ *AB* দ্বারা সংগঠিত। চোঙটির উপরের মুখ স্ক্রু-প্যাচকাটা পিস্টন *C* সংযুক্ত এবং নীচের মুখ *B* স্ক্রু-ছিপি আটকানো থাকে।



চিত্র 7E

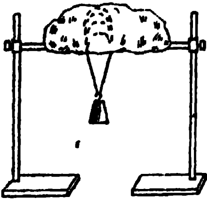
পরীক্ষার প্রারম্ভে চোঙটি আংশিক জলপূর্ণ করিয়া হিম-মিশ্রণের সাহায্যে ঐ জল জমাইয়া বরফে পরিণত কর। অতঃপর ঐ বরফের উপর একটি লোহার বল রাখ এবং চোঙটিকে বরফ-পাত্রে স্থাপন কর। এখন হাতল ঘুরাইয়া পিস্টনটি চোঙের মধ্যে প্রবেশ করাইতে থাক। ইহার

ফলে চোঙের অভ্যন্তরে অত্যধিক চাপ বৃদ্ধি পাইবে এবং দেখা যাইবে জমানো জল যদিও 0°C তাপমাত্রায় রক্ষিত তথাপি উহা গলিয়া গিয়াছে এবং বলটি নীচের মুখে চলিয়া আসিয়াছে। এমতাবস্থায় পিস্টনের হাতলটি উল্টা ঘুরাইয়া চোঙের অভ্যন্তর চাপমুক্ত করিতে থাকিলে ঐ গলিত বরফ পুনরায় জমিয়া বরফ হইতে থাকিবে। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখ-যোগ্য, মাউসন নিজে এই পরীক্ষাটি সম্পাদন করিবার সময় প্রমাণ বায়ুচাপের 1300 গুণ চাপ বৃদ্ধি করিয়াছিলেন।

7·8. পুনঃশিলীভবন (Regelation) : চলতি কথায় বরফকে শিলা বলা হয়। আমরা জানি, চাপবৃদ্ধিতে বরফ 0°C তাপমাত্রায় থাকা সত্ত্বেও উহা গলিয়া যায়। আবার চাপহ্রাসে ঐ গলিত বরফ পুনরায় জমিয়া বরফ হয়। এই ঘটনাকে পুনঃশিলীভবন বলা হয়।

নিম্নে পুনঃশিলীভবনের পরীক্ষা আলোচনা করা হইল

(1) বটমলি-র (Bottomley) পরীক্ষা—বড় একখণ্ড বরফের দুই প্রান্ত দুইটি অবলম্বনের (support) উপর স্থাপন করিয়া উহার মধ্যস্থলে তামা অথবা লোহার সরু তারের সাহায্যে ওজন ঝুলাইয়া দাও (7F চিত্র)। দেখিতে পাইবে ঐ তার বরফখণ্ড ভেদ করিয়া ক্রমাগত নীচে নামিয়া আসে (7F চিত্র)। পরিশেষে ঐ ওজন-ঝুলানো তার বরফ কাটিয়া ওজনসহ নীচে পড়িয়া যায়, কিন্তু বরফখণ্ড অবিভক্ত থাকিয়া যায়।



চিত্র 7F

ব্যাখ্যা—তারের যে অংশ বরফের সংস্পর্শে আসে উহার উপর চাপ বেশী পড়ায় বরফের গলনাঙ্ক হ্রাস পায়। সুতরাং ঐ স্থানের বরফ গলিয়া জল হওয়ায় উহা তারের উপরে চলিয়া আসে এবং ঐ জল চাপমুক্ত হইয়া পুনরায় জমিয়া যায়—অর্থাৎ পুনরায় শিলায় পরিণত হয় এবং ওজন-ঝুলানো তার বরফখণ্ড ভেদ করিতে থাকে।

সরু সুতা অপেক্ষা সরু ধাতব তারে অনেক বেশী ওজন ঝুলানো চলে। সুতরাং তারের সংস্পর্শের বরফের উপর অত্যধিক চাপ পড়ে এবং বরফ-গলন দ্রুততর হয়। ধাতব তার ব্যবহারের আর একটি সুবিধা এই যে, বরফ-গলিত জল পুনরায় জমিবার কালীন যে লীন-তাপমুক্ত হয় উহা ধাতব তারে প্রবাহিত হইয়া বরফ-গলনকার্যে সাহায্য করে। সুতরাং ওজন-ঝুলানো তার আরও শীঘ্র বরফ ভেদ করিয়া নামিয়া আসে।

(2) **বরফের মোয়া বা বরফের ঢেলা**—তোমরা হয়তো অনেকেই শিলা-টুকরা-টুকরা শিলাখণ্ড হাতের তালুর মধ্যে লইয়া জোরে চাপ দিয়া বরফের মোয়া তৈয়ারী করিয়া থাকিবে।

বরফের এই ঢেলা বা মোয়া পুনঃশিলীভবনের একটি সহজ দৃষ্টান্ত। বরফশিলা-গুলি যখন একত্র করিয়া চাপ দেওয়া হয় তখন উহাদের সংযোগস্থলে চাপবৃদ্ধি হওয়ায় বরফের গলনাঙ্ক নামিয়া আসে এবং ঐ স্থানের বরফ গলিয়া জল হইয়া যায়। আবার চাপমুক্ত হইলে ঐ বরফ-গলা জল পুনরায় জমিয়া বরফ হয় এবং বিভিন্ন বরফ-টুকরাগুলি তখন জোড়া লাগিয়া একটি ঢেলায় পরিণত হয়।

7·9. হিম-মিশ্রণ (Freezing mixture) : যে মিশ্রণের সাহায্যে বরফের তাপমাত্রা অপেক্ষাও নীচের তাপমাত্রা পাওয়া সম্ভব হয়, তাহাকে আমরা বলিয়া থাকি হিম-মিশ্রণ।

দুইটি বস্তুর হিম-মিশ্রণে অন্ততঃ একটি বস্তু কঠিন হওয়া প্রয়োজন। অবশ্য অনেক ক্ষেত্রে দুইটি বস্তুই কঠিন লওয়া হয়।

হিম-মিশ্রণের সাধারণ উদাহরণ হিসাবে, আমরা বরফ এবং লবণ এই দুইয়ের মিশ্রণ উল্লেখ করিয়া থাকি। পরীক্ষাদ্বারা দেখা গিয়াছে তিনভাগ ওজনের বরফ-কুচি এবং একভাগ ওজনের সাধারণ লবণ ভালোভাবে মিলাইলে যে মিশ্রণ তৈয়ারী হয় উহা প্রায় $-23°C$ তাপমাত্রায় নামিয়া যায়।

চারিভাগ ক্যাল্সিয়াম ক্লোরাইড এবং তিনভাগ বরফ-কুচি মিশাইলে যে হিম-মিশ্রণ তৈয়ারী হয়, উহা $-50°C$ তাপমাত্রায় নামিয়া যায়। আবার কিছু পরিমাণ অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট সমপরিমাণ বিশুদ্ধ জলের সঙ্গে মিশাইলে যে হিম-মিশ্রণ তৈয়ারী হয়, উহা $-15°C$ তাপমাত্রায় নামিয়া যায়, ইত্যাদি।

হিম-মিশ্রণের তাপমাত্রা নামিয়া যাওয়ার কারণ—আমরা জানি কোন বস্তু গলিতে গেলে ঐ বস্তু কিছু পরিমাণ লীন-তাপ তাহার পার্শ্বস্থ বস্তু হইতে সংগ্রহ করে। একারণে পার্শ্বস্থ বস্তুসহ সামগ্রিক বস্তুর তাপমাত্রা কমিয়া যায়। সাধারণ হিম-মিশ্রণে অর্থাৎ তিনভাগ বরফ এবং একভাগ লবণ যখন মিশ্রিত করা হয়, তখন উহাদের গাত্র সংলগ্ন জল হইতে তাপ সংগ্রহ করিয়া বরফ গলিতে থাকে। আবার এই গলিত জল হইতে তাপ সংগ্রহ করিয়া লবণও সঙ্গে সঙ্গে গলিতে থাকে। এই প্রক্রিয়ায় শেষ-পর্যন্ত সামগ্রিক মিশ্রণের তাপমাত্রা বরফের তাপমাত্রা অপেক্ষা অনেক কমিয়া যায়।

7·10. গলন-সম্পর্কীয় নিয়ম (Laws of fusion) : গলন অথবা কঠিনীভবনের বিভিন্ন পরীক্ষার ফলাফল দৃষ্টে নিম্নলিখিত নিয়মগুলি বিবৃত করা হইয়াছে—

(1) নির্দিষ্ট চাপে কোন কঠিন পদার্থ নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় গলিতে [redacted] এই তাপমাত্রাই ঐ বস্তুর গলনাঙ্ক। যেপর্যন্ত সমগ্র বস্তুটি গলিয়া না যা এই তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে।

(2) একটি সঙ্কর ধাতুর গলনাঙ্ক উহার আনুষঙ্গিক মৌলধাতুগুলির প্রত্যেকটির গলনাঙ্ক অপেক্ষা কম। যেমন রাঙ-ঝালাইয়ের (এই সঙ্কর ধাতুটি টিন এবং সীসা দ্বারা গঠিত) গলনাঙ্ক 194°C; কিন্তু টিনের গলনাঙ্ক 232°C, এবং সীসার গলনাঙ্ক 327°C।

(3) যেসমস্ত কঠিন বস্তু তরলে পরিবর্তিত হইলে উহাদের আয়তন হ্রাস পায়, তাহাদের ক্ষেত্রে চাপবৃদ্ধিতে বস্তুর গলনাঙ্ক কমিয়া যায়; যেমন—বরফ ইত্যাদি। যেসমস্ত বস্তুর ঐ পরিবর্তনে আয়তন বৃদ্ধি পায় তাহাদের চাপবৃদ্ধিতে গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়।

(4) প্রত্যেক বস্তুর ক্ষেত্রেই গলন বা কঠিনীভবনকালীন লীন-তাপ ধ্রুবক। কিন্তু বিভিন্ন বস্তুর লীন-তাপ বিভিন্ন।

(5) প্রত্যেক ক্ষেত্রেই দ্রবণের (Solution) হিমাঙ্ক দ্রাবকের (Solvent) হিমাঙ্ক অপেক্ষা কম; যেমন—সাধারণ লবণ-জল মিশ্রণের হিমাঙ্ক জলের হিমাঙ্ক অপেক্ষা প্রায় 2°C কম।

সারাংশ

বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন—বস্তুতে তাপ প্রযোগ করিয়া কিংবা বস্তু হইতে তাপ অপসারণ করিয়া বস্তুর এক অবস্থা হইতে অন্য অবস্থায় পরিণত করাকে বলা হয় বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন।

গলন এবং গলনাঙ্ক—তাপপ্রযোগে যখন কোন কঠিন বস্তু তরলে পরিবর্তিত হইতে আরম্ভ করে, কিন্তু বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায় না তখন বস্তুর এই অবস্থার পরিবর্তনকে বলা হয় কঠিন বস্তুর **গলন** এবং যে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বস্তুর এই গলন-কায সম্পাদিত হয়, সেই তাপমাত্রাকে বলা হয় ঐ কঠিন বস্তুর **গলনাঙ্ক**।

কঠিনীভবন এবং হিমাঙ্ক—তাপ-অপসারণে যখন কোন তরল পদার্থ কঠিনে পরিবর্তিত হয় কিন্তু উহাব তাপমাত্রা হ্রাস পায় না, তখন এই অবস্থান্তরকে বলা হয় তরল পদার্থের **কঠিনীভবন** এবং যে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় তরল কঠিনে পরিবর্তিত হইতে আরম্ভ করে, উহাকে বলা হয় তরল পদার্থের **হিমাঙ্ক**।

কৈশিক নলের সাহায্যে এবং উষ্ণ ও শীতল লেখচিত্রের সাহায্যে পদার্থের গলনাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

অধিকাংশ ক্ষেত্রে কঠিন বস্তু গলিলে আয়তনের বৃদ্ধি হয় এবং তরল বস্তু জমিয়া কঠিন হইলে উহার আয়তন কমিয়া যায়। কিন্তু জল, ঢালাই লোহা ইত্যাদির ক্ষেত্রে ইহার ব্যতিক্রম ঘটে।

বস্তুর গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব—

যেসমস্ত কঠিন পদার্থ গলিয়া গেলে উহাদের আয়তনের বৃদ্ধি হয় সেইসকল পদার্থের ক্ষেত্রে চাপবৃদ্ধিতে গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়।

(2) যেসমস্ত বস্তু গলিয়া গেলে উহাদের আয়তন কমিয়া যায়, তাহাদের ক্ষেত্রে চাপবৃদ্ধিতে গলনাঙ্ক কমিয়া যায়।

চাপ বাড়াইলে বরফের গলনাঙ্ক যে কমিয়া যায় তাহা **মাউসন-এর পরীক্ষার** সাহায্যে দেখানো হইয়া থাকে।

পুনঃশিলীভবন—বরফের উপর চাপবৃদ্ধিতে বরফ-শিলা 0°C তাপমাত্রায় থাকা সত্ত্বেও জলে পরিণত হয় এবং চাপহ্রাসে ঐ গলিত বরফ পুনরায় বরফে পরিণত হয়; **এই ঘটনাকে পুনঃশিলীভবন** বলা হয়। Bottomley-র পরীক্ষার সাহায্যে পুনঃ-শিলীভবন ব্যাপারটি বুঝানো হইয়া থাকে।

হিম-মিশ্রণ—যে মিশ্রণের সাহায্যে (যেমন—তিন ভাগ ওজনের বরফ-কুচি এবং একভাগ ওজনের সাধারণ লবণ) বরফের তাপমাত্রা অপেক্ষা নীচের তাপমাত্রা পাওয়া সম্ভব, তাহাকে হিম-মিশ্রণ বলা হয়।

প্রশ্নমালা

1. বস্তুর গলন এবং গলনাঙ্ক বলিতে কি বোঝ? কৈশিক নলের সাহায্যে কি প্রকারে মোমের গলনাঙ্ক নির্ণয় করা হয় তাহা বর্ণনা কর। [Explain clearly what you mean by melting and melting-point of a substance. Describe how melting-point of paraffin is determined by capillary tube method.]

2. বস্তুর গলনাঙ্ক এবং হিমাঙ্ক বলিতে কি বোঝ? উষ্ণ এবং শীতল লেখচিত্রের সাহায্যে কি প্রকারে বস্তুর গলনাঙ্ক এবং হিমাঙ্ক নির্ণয় করা যায় তাহা বর্ণনা কর। [Explain clearly what you mean by melting-point and freezing-point of a substance. Describe how you determine them by heating and cooling curve.]

3. বস্তুর গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব কি? চাপের প্রভাবে মোম এবং বরফের গলনাঙ্কের পরিবর্তনের প্রকৃতির আদৌ কোন তারতম্য হয় কি? যদি হয়, তাহা হইলে কি প্রকারের তারতম্য হয়? [What is the effect of pressure on melting-point ? In what way, if at all, does it differ in the case of paraffin wax and of ice ?]

4. মাউসন-এর পরীক্ষা বর্ণনা কর। ইহার ফল কি নির্দেশ করে [redacted] দাও। [Describe Mousson's experiment and explain what [redacted] indicates.]

5. পুনঃশিলীভবন বলিতে কি বোঝ? ইহা বুঝাইবার জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। [What do you mean by Regelation ? Describe an experiment to demonstrate it.]

6. বরফ এবং লবণের মিশ্রণে তাপমাত্রা কেন অধিক পরিমাণে নামিয়া আসে তাহা বুঝাইয়া দাও। [Explain why a mixture of ice and salt produces a considerable lowering of temperature.]

7. গলন-সম্পর্কীয় নিয়মগুলি বিবৃত কর। [State Laws of fusion.]

অষ্টম পরিচ্ছেদ

বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন (Change of state)

তরল হইতে বাষ্পে

8·1. তরল পদার্থের বাষ্পীয় অবস্থায় রূপান্তর: কোন তরল পদার্থের গ্যাসীয় বা বায়বীয় অবস্থাকে বলা হয় ঐ তরল পদার্থের বাষ্প। যেমন, জলের গ্যাসীয় অবস্থাকে বলা হয় জলীয় বাষ্প। যে-কোন পদ্ধতিতে তরল বাষ্পে পরিণত হওয়ার সাধারণ নাম বাষ্পীকরণ (Vaporisation)।

তরল পদার্থ সাধারণতঃ দুইটি উপায়ে বাষ্পে পরিণত হয়। যথা—

(1) স্ফুটন (Boiling or Ebullition), এবং

(2) বাষ্পীভবন বা বাষ্পায়ন (Evaporation)।

স্ফুটন—যখন কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একটি পাত্রের তরল সামগ্রিকভাবে টগ্‌বগ্ করিয়া ফুটিয়া দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয় তখন তরলের এই অবস্থাকে বলা হয় তরল পদার্থের **স্ফুটন**।

স্ফুটনাঙ্ক—যে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় এই স্ফুটন সম্পাদিত হয়, তাহাকে বলা হয় তরলের **স্ফুটনাঙ্ক**। তরলের স্ফুটনাঙ্ক পারিপার্শ্বিক চাপের উপর নির্ভর করে। যেমন, প্রমাণ বায়ুচাপে জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C। চাপের পরিবর্তনে তরলের স্ফুটনাঙ্কের পরিবর্তন ঘটে।

8·2. স্ফুটন এবং স্ফুটনাঙ্কের পরীক্ষা: একটি ফ্লাস্কের মধ্যে কিছু পরিমাণ বিশুদ্ধ জল লইয়া উহার মধ্যে একটি সেন্টিগ্রেড-চিহ্নিত থার্মোমিটার ঝুলাইয়া দাও। এখন ঐ ফ্লাস্কটির তলায় তাপ দিতে থাক। দেখিতে পাইবে জলের তাপমাত্রা ক্রমাগত বাড়িতেছে। যখন উহা 100°C তাপমাত্রার কাছাকাছি হয়, তখন ফ্লাস্কের অভ্যন্তরস্থ সমগ্র জল টগ্‌বগ্ করিয়া ফুটিয়া দ্রুত বাষ্পে পরিণত হইতে থাকে। কিন্তু আরও তাপ দিতে থাকিলে থার্মোমিটারের পাঠের কোন পরিবর্তন হয় না। এই অবস্থায় **থার্মোমিটারের পাঠ নির্দেশ করে জলের স্ফুটনাঙ্ক।** সুতরাং স্ফুটন একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সংঘটিত হয় এবং স্ফুটনকালে পাত্রস্থ সমগ্র তরল টগ্‌বগ্ করিয়া ফুটিয়া বাষ্পে পরিণত হয়।

8·3. স্ফুটনকালীন লীন-তাপ (Latent heat of [illegible]tion): কোন তরল স্ফুটনাঙ্কে আসিয়া পৌছাইলে এক গ্রাম তরলকে বাষ্পে [illegible]ণত

করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, তাহাকে বলা হয় **তরলের স্ফুটন-কালীন লীন-তাপ।** যেমন, জলের স্ফুটনকালীন লীন-তাপ সাধারণতঃ ধরা হয় 537 ক্যালরি প্রতি গ্রাম।

8·4. বাষ্পীভবন বা বাষ্পায়ন (Evaporation)ঃ কোন তরলের ক্রমশঃ বাষ্পে পরিণত হওয়াকে বলা হয় তরলের বাষ্পীভবন বা বাষ্পায়ন। স্ফুটন প্রক্রিয়ায় তরল বাষ্পে পরিণত হইতে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার দরকার হয়। কিন্তু তরলের বাষ্পীভবন প্রক্রিয়ায় তরল পদার্থ সব তাপমাত্রাতেই বাষ্পে পরিণত হইয়া থাকে; কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রার দরকার হয় না।

গ্রীষ্মের দিনে পুকুরের জল শুকাইয়া যাওয়া, ভিজা কাপড় মেলিয়া দিলে শুকাইয়া যাওয়া ইত্যাদি ব্যাপার জলের বাষ্পায়ন প্রক্রিয়ার ফলেই সম্ভব হয়।

8·5. বাষ্পীভবন দ্রুত হইবে কিংবা মন্থর হইবে তাহা নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর নির্ভর করেঃ

1. **তরলের প্রকৃতি**—তরল যদি উদ্বায়ী (volatile) হয়; যেমন—কোহল, ইথার ইত্যাদি, তাহা হইলে উহা খুব দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয়; কিন্তু জলের বেলায় বাষ্পীভবন অনেকটা মন্থর। আবার সরিষার তেল, তিল তেল ইত্যাদির ক্ষেত্রে বাষ্পীভবন নগণ্য বলিলেই চলে।

2. **তরলের উন্মুক্ত তলের বিস্তৃতি**—একটি চায়ের প্লেটে কিছু পরিমাণ ইথার ঢালিলে দেখিতে পাইবে উহা অনতিবিলম্বেই অদৃশ্য হইয়া বাষ্পে পরিণত হইয়াছে; কিন্তু ঐ পরিমাণ ইথার যদি মুখখোলা একটি ছোট শিশির মধ্যে রাখা হয়, তাহা হইলে দেখিতে পাইবে উহা অদৃশ্য হইয়া বাষ্পে পরিণত হইতে বেশ কিছু সময় লাগে।

3. **তরলের তাপমাত্রা**—তরলের তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে উহার বাষ্পীভবন দ্রুত হয়। একারণে দেখা যায় কেট্‌লির জল গরম করিবার সময় ঐ জল ফুটিবার আগেই কেট্‌লির নল দিয়া দ্রুত বাষ্প বাহির হইয়া আসে।

4. **বাতাসের আর্দ্রতা এবং বায়ুপ্রবাহ**—বর্ষাকালে ভিজা কাপড় টান করিয়া মেলিয়া দিলেও উহা সহজে শুকাইতে চাহে না, কেননা বাতাসে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেশী থাকায় উহা বেশী আর্দ্র হয়; সুতরাং দ্রুত বাষ্পায়নে ব্যাঘাত ... কিন্তু ঐ ভিজা কাপড়কে ঘরের মধ্যে টান করিয়া মেলিয়া যদি পাখা চালাইয়া ...ৃ সৃষ্টি করা যায় তাহা হইলে দেখা যায় অপেক্ষাকৃত অল্প সময়ের মধ্যে ভিজা কাপড়টি শুকাইয়া যায়।

5. **বায়ুর চাপ**—তরলের উপর বায়ুর চাপ যত বেশী হইবে বাষ্পীভবন তত মন্থর হইবে এবং তরলের উপর বায়ুর চাপ যত কম হইবে বাষ্পীভবন তত দ্রুত হইবে।

8·6. স্ফুটন এবং বাষ্পীভবনের মধ্যে পার্থক্য ঃ

1. স্ফুটন প্রক্রিয়ায় তরল দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয়। বাষ্পীভবন প্রক্রিয়াতে তরল অপেক্ষাকৃত ধীরে ধীরে বাষ্পে পরিণত হইয়া থাকে।

2. স্ফুটন একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ঘটে কিন্তু বাষ্পীভবন যে-কোন তাপমাত্রাতেই সংঘটিত হয়।

3. স্ফুটনকালে সমগ্র তরল টগ্‌বগ্‌ করিয়া ফুটিতে থাকে, কিন্তু বাষ্পীভবন শুধু তরলের উন্মুক্ত তল হইতেই সংঘটিত হয় এবং সমগ্র তরল এই প্রক্রিয়াতে অংশগ্রহণ করে না।

8·7. দ্রুত বাষ্পীভবনে উষ্ণতা-হ্রাস ঃ কোন পাত্রের তরল যে-কোন তাপমাত্রাতেই বাষ্পে পরিণত হউক না কেন, উহা বাষ্পীভবনকালীন প্রয়োজনীয় লীন-তাপ প্রধানতঃ তরল এবং উহার পাত্র হইতে গ্রহণ করে, সুতরাং পাত্রের অবশিষ্ট তরলের উষ্ণতা কিয়ৎপরিমাণে হ্রাস পায়। বাষ্পীভবন দ্রুত হইলে এই উষ্ণতা-হ্রাস বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়।

নিম্নে দ্রুত বাষ্পীভবনে শৈত্যের উৎপত্তির কয়েকটি সাধারণ উদাহরণ দেওয়া হইল—

(ক) অত্যধিক গরম চা প্লেটে ঢালিয়া ফুঁ দিলে সহজেই শীতল হয়। এক্ষেত্রে বায়ুপ্রবাহ এবং প্লেটে ঢালা চা-এর অধিক উন্মুক্ত তল দ্রুত বাষ্পীভবনে সাহায্য করে এবং চা শীতল হয়।

(খ) হাতের কোনস্থানে কয়েক ফোঁটা স্পিরিট ঢালিয়া ফুঁ দিলে, ঐ স্থান অত্যধিক শীতল বোধ হয়। স্পিরিটের উদ্বায়ী ধর্ম এবং বায়ুপ্রবাহ দ্রুত বাষ্পায়নে সাহায্য করে। সুতরাং স্পিরিট হাতের ঐ স্থান হইতে প্রয়োজনীয় লীন-তাপ দ্রুত অপসারণ করায় ঐ স্থান শীতল বোধ হয়।

(গ) গ্রীষ্মকালে শুষ্ক এবং উষ্ণ বায়ু দ্রুত বাষ্পায়নে সাহায্য করে। সুতরাং—

(i) ভিজা কাপড়ে গা জড়াইলে শীতল বোধ হয়। এক্ষেত্রে দ্রুত বাষ্পায়নকালে প্রয়োজনীয় লীন-তাপ দেহ সরবরাহ করায় উহা শীতল হয়।

(ii) দরজা-জানালায় ভিজা খস্‌খস্‌ ঝুলানো থাকিলে গরমের দিনে ঘর শীতল হয়। এক্ষেত্রে বাষ্পায়নের প্রয়োজনীয় লীন-তাপ খস্‌খস্‌ সরবরা[illegible] উহা শীতল হয় এবং বাহিরের উষ্ণতর বায়ু খস্‌খসের মধ্য [illegible] প্রবেশকালে উহা শীতল হইয়া ঘরের অভ্যন্তর শীতল করে।

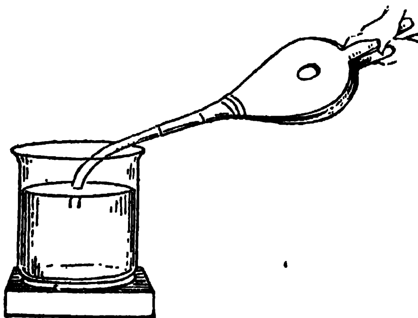
(iii) গরমের দিনে কুঁজার জল ঠাণ্ডা হয়। এক্ষেত্রে কুঁজার ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ছিদ্রপথে অভ্যন্তরের জল বাহিরে চুয়াইয়া আসে এবং দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয়। এই বাষ্পায়ন-কালে কুঁজার অভ্যন্তরের জল প্রয়োজনীয় লীন-তাপ সরবরাহ করায় উহা শীতল হয়।

(iv) শহরের রাস্তায় গ্রীষ্মের বিকালে জল দেওয়ার পর উহা দিয়া চলাফেরা করা অনেকটা আরামদায়ক। এক্ষেত্রে রাস্তায় ছিটানো জল দ্রুত বাষ্পায়নকালে প্রয়োজনীয় লীন-তাপ রাস্তা সরবরাহ করে এবং উহা শীতল হয়। এইসঙ্গে রাস্তার সন্নিহিত বাতাসও রাস্তার সংস্পর্শে থাকায় শীতল হয়। কাজেই পথচলা আরামপ্রদ হয়।

(v) গরমের দুপুরে দরজা-জানালা বন্ধ করিয়া বৈদ্যুতিক পাখা চালাইলে আরাম বোধ হয়। এক্ষেত্রে গা-এর ঘাম দ্রুত বাষ্পায়ন-কালে প্রয়োজনীয় তাপ গা সরবরাহ করে। সুতরাং দেহ শীতল হয়।

(ঘ) থার্মোমিটারের কুণ্ড ভিজা নেকড়া দিয়া জড়াইলে উহার পাঠ দ্রুত নামিয়া যায়। এক্ষেত্রে নেকড়ার জল বাষ্পায়ন-কালে প্রয়োজনীয় লীন-তাপ কুণ্ডের পারদ সরবরাহ করে। সুতরাং পারদের তাপমাত্রা কমিয়া যায়। ইহার ফলে থার্মোমিটারের পাঠ নামিয়া আসে।

দ্রুত বাষ্পীভবনের সাহায্যে বরফ তৈয়ারী—একটি চৌকা কাঠের পাতলা ফলকের (wooden block) উপর-তলে সামান্য কিছু জল রাখিয়া উহার উপর একটি পাতলা কাচের বীকার বসাও। অতঃপর বীকারে কিছু পরিমাণ ইথার (Ether) রাখিয়া হাত-হাপরের সাহায্যে ঐ ইথার উড়াইয়া দিতে থাক (8A চিত্র)। কিছুক্ষণ পরে দেখিতে পাইবে বীকারের তলায় জল জমিয়া বরফে পরিণত হওয়ায় বীকার ও ফলকটি সাময়িকভাবে আট্‌কাইয়া গিয়াছে। এক্ষেত্রে হাপরের সাহায্যে উদ্বায়ী ইথার অতি দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয়। সুতরাং বীকারের তলায় সংলগ্ন জল অতি দ্রুত [illegible]য় লীন-তাপ সরবরাহ করায় ঐ জল বরফে পরিণত হয় এবং এই পাতলা [illegible]র বীকার ও কাষ্ঠফলকটিকে আট্‌কাইয়া ধরে। ফলে বীকারটি তুলিলে উহার সঙ্গে ফলকটিও উঠিয়া আসে।



চিত্র

8·8. তরলের স্ফুটনাঙ্কের উপর বিভিন্ন উপাদানের প্রভাব (Factors influencing the boiling-point of a liquid) :

1. চাপের প্রভাব—তরল তলের উপর চাপবৃদ্ধিতে তরলের স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায় এবং চাপহ্রাসে তরলের স্ফুটনাঙ্ক কমিয়া আসে। যেমন, প্রমাণ বায়ুর চাপে বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C, কিন্তু প্রতি 27 mm. পারদ-স্তম্ভের চাপের অনুরূপ চাপের বৃদ্ধি বা হ্রাসে ঐ জলের স্ফুটনাঙ্ক 1°C বৃদ্ধি বা হ্রাস হয়।

দার্জিলিঙ ইত্যাদি পাহাড় অঞ্চলে যেখানে বায়ুর চাপ অপেক্ষাকৃত কম সেখানে কম তাপমাত্রাতেই জল ফুটিয়া থাকে, সুতরাং মাংস, ডিম ইত্যাদি সহজে সুসিদ্ধ হয় না এবং চায়ের ক্বাথ (tea-liquor) ভালোভাবে তৈয়ারী করা সম্ভব হয় না। অবশ্য প্রেসার-কুকার (Pressure-cooker), ডাইজেস্টার (Pepin's digester) ইত্যাদির সাহায্যে কৃত্রিম উপায়ে জলের উপর বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি করাইয়া উচ্চ তাপমাত্রায় জল ফুটাইয়া মাংস, ডিম ইত্যাদি সুসিদ্ধ করা চলে।

2. তরলে মিশ্রিত পদার্থের প্রভাব—যখন কোন তরলে অন্য কোন বস্তু মিশ্রিত হয় তখন দ্রবণের (Solution) স্ফুটনাঙ্ক বিশুদ্ধ তরলের স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা অধিক হয়। যেমন, প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C, কিন্তু ঐ প্রমাণ চাপেই সাধারণ লবণ-গোলা জলের স্ফুটনাঙ্ক প্রায় 9°C বৃদ্ধি পায়।

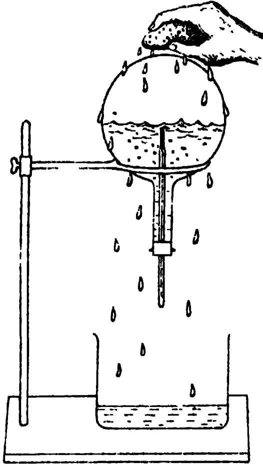
3. পাত্রের প্রভাব—বৈজ্ঞানিক Gay Lussac বিভিন্ন পরীক্ষার দ্বারা সিদ্ধান্ত করিয়াছেন যে, যে পাত্রে তরল রাখা হয় সেই পাত্রের উপাদান এবং পাত্রের পরিচ্ছন্নতার উপর তরলের স্ফুটনাঙ্ক অনেকটা নির্ভর করে। যেমন, কাচের পাত্রে এবং তামার পাত্রে জল ফুটাইলে দেখা যায় যে, কাচের পাত্রের ক্ষেত্রে জলের স্ফুটনাঙ্ক তামার পাত্রের তুলনায় কিছুটা অধিক।

8·9. স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাবের কয়েকটি পরীক্ষা :

1. ফ্রাঙ্কলীন (Franklin)-এর পরীক্ষা—এই পরীক্ষার দ্বারা আমরা বুঝিতে পারি তরলের উপর চাপ কমিলে তরলের স্ফুটনাঙ্ক কমিয়া যায়।

পরীক্ষা : একটি কাচের ফ্লাস্কের অর্ধেক জলপূর্ণ করিয়া ঐ জল কিছুক্ষণ ফুটাইতে থাক যাহাতে ফ্লাস্কের সমস্ত বায়ু জলীয় বাষ্প দ্বারা বিতাড়িত হয়। এখন তাপপ্রদান বন্ধ করিয়া ফ্লাস্কের মুখ থার্মোমিটারসহ কর্ক আঁটিয়া দাও উহাকে সতর্কতার সঙ্গে একটি Retort stand-এর আঙটার মধ্যে উল্টা কর (8B চিত্র)। দেখিতে পাইবে অনতিবিলম্বে ফ্লাস্কের জলের স্ফুটন ব হইয়া

গিয়াছে। এখন শীতল-জল-শোষিত স্পন্‌জের (sponge) সাহায্যে ফ্লাস্কের উপর জল দিতে থাক। থার্মোমিটারের পাঠ হইতে দেখিতে পাইবে ফ্লাস্কের জলের তাপমাত্রা যদিও কমিতে থাকে কিন্তু ফ্লাস্কের জলের স্ফুটন চলিতে থাকে।

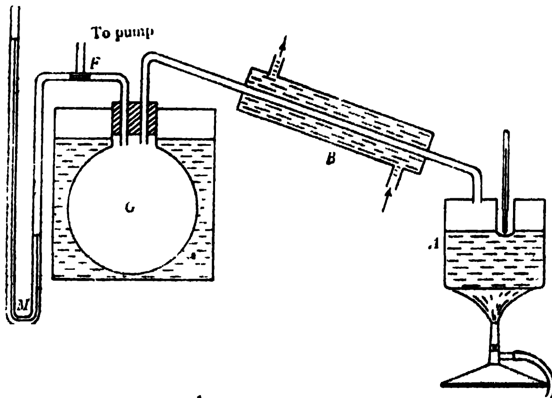


চিত্র 8B

ব্যাখ্যা—ফ্লাস্কে ঠাণ্ডা জল দেওয়ায় উহার অভ্যন্তরস্থ জলীয় বাষ্প শীতল হইয়া আংশিক তরলে পরিণত হয়। ফলে ফ্লাস্কের জলের উপর বাষ্পের চাপ হ্রাস পায়। কাজেই কম তাপমাত্রাতেও ফ্লাস্কের জল ফুটিতে পারে। সুতরাং এই পরীক্ষা নির্দেশ করে চাপহ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস হয়।

2. রেনো-র পরীক্ষা (Regnault's experiment)—তরলের প্রতীকস্বরূপ জল লইয়া ফ্রাঙ্কলীনের পরীক্ষার সাহায্যে নির্দেশিত হইয়াছে যে, চাপের হ্রাসে তরলের স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস হয়। রেনো-র পরীক্ষার সাহায্যে সাধারণতঃ দেখানো হইয়া থাকে যে, চাপবৃদ্ধিতে তরলের স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। এক্ষেত্রেও তরলের প্রতীক হিসাবে জল ব্যবহার করা হয়।

8C চিত্রে রেনো-র যন্ত্র সহজভাবে দেখানো হইল। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, এই যন্ত্রটি নিম্নলিখিত কার্যকারী অংশগুলির দ্বারা সংগঠিত—



চিত্র 8C

C একটি তামার পাত্র, উহা স্থির তাপমাত্রার জল-গাহে (Constant ...ure bath) নিমজ্জিত থাকে। দুইটি সংযোগ-নলসহ ঐ পাত্রের মুখ ছিপি-আঁটা।

(2) *A* অপর একটি মুখবন্ধ তামার পাত্র। পরীক্ষাধীন তরল এই পাত্রে রাখিয়া উত্তপ্ত করিতে হয়।

(3) শীতক (Condenser)—ইহা *G* এবং *A* পাত্র দুইটির মধ্যে সংযোগ রক্ষা করে।

(4) বায়ু-সংনমন পাম্প ও ম্যানোমিটার—পাম্পটির সাহায্যে *G*-এর বায়ুর চাপ বৃদ্ধি করা হয় এবং ম্যানোমিটারের সাহায্যে ঐ চাপ বাহিরের বাতাসের চাপ অপেক্ষা কত অধিক তাহা নির্ণীত হয়।

কার্যপ্রণালী—*A* পাত্রে কিছু পরিমাণ জল লও এবং সংনমন পাম্পের সাহায্যে *G* পাত্রের বায়ুর চাপ উপযুক্ত পরিমাণে বাড়াইয়া লও। ঐ বর্ধিত চাপ শীতকের অভ্যন্তরের সংযোগ-নলের সাহায্যে *A* পাত্রস্থ জলের উপর প্রযুক্ত হয়। এখন *A* পাত্রের জল উত্তপ্ত করিতে থাক এবং উহার উপরে স্থাপিত থার্মোমিটারের পাঠ লও। যখন থার্মোমিটারের পাঠ স্থির হয় তখন বুঝিতে হইবে পাত্রের জলের তাপমাত্রা স্ফুটনাঙ্কে আসিয়াছে। এক্ষেত্রে থার্মোমিটারের পাঠ হইতে নির্দেশিত হয় যে, বর্ধিত চাপে জলের স্ফুটনাঙ্কের মান বৃদ্ধি পায়।

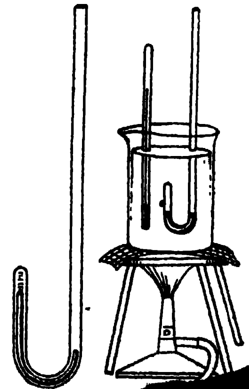
G পাত্রের বায়ুর চাপ বায়ু-শোষণ পাম্পের সাহায্যে কমাইয়া বর্ণিত পরীক্ষার পুনরাবৃত্তিতে দেখা যাইবে চাপহ্রাসে তরলের (এক্ষেত্রে জলের) স্ফুটনাঙ্ক কমিয়া যায়।

8·10. তরলের উপর প্রযুক্ত বায়ুর চাপ স্ফুটনাঙ্ক-কালীন তরলের বাষ্পের চাপের সমান :

নিম্নবর্ণিত পরীক্ষার সাহায্যে এই উক্তিটির সত্যতা প্রমাণিত হইয়া থাকে—

পরীক্ষা—'U' আকৃতির একটি নল লও। ইহার বাহু দুইটির দৈর্ঘ্য অসমান। ছোট বাহুটির মুখ বন্ধ। পরীক্ষা-প্রারম্ভে দীর্ঘ বাহুর খোলা মুখে শুষ্ক পারদ ঢালিয়া নলটি পারদপূর্ণ কর। এখন খোলা মুখের কাছের কিছু পরিমাণ পারদ সরাইয়া ঐ স্থানে পরীক্ষাধীন তরল (এক্ষেত্রে জল) লও এবং খোলা মুখ বন্ধ করিয়া নলটি উল্টাইয়া ধর। জল পারদ অপেক্ষা হাল্কা, সুতরাং উহা ছোট বাহুর বন্ধ মুখের কাছে চলিয়া আসিবে।

অতঃপর নলটি পূর্বের ন্যায় খাড়া অবস্থানে আনিয়া একটি শলাকার সাহায্যে দীর্ঘ বাহুর পারদ সরাইতে থাক যেপর্যন্ত না ঐ বাহুর পারদশীর্ষ ছোট বাহুর পারদশীর্ষের নীচে চলিয়া আসে (8D (i) চিত্র)।



(i) চিত্র [illegible]

এখন এই নলটিকে বীকারের জলে 8D(ii) চিত্র অনুযায়ী স্থাপন কর এবং এই জল-গাহে (water-bath) একটি থার্মোমিটার [illegible]াইয়া

দাও। অতঃপর বীকারের জল উত্তপ্ত করিতে থাক। দেখিতে পাইবে ছোট বাহুর পারদশীর্ষ নীচে নামিয়া আসিতেছে এবং অপর বাহুর পারদশীর্ষ উপরের দিকে উঠিতেছে। পরিশেষে বীকারের জল যখন টগ্‌বগ্ করিয়া ফুটিতে থাকে তখন নলের পারদশীর্ষ দুইটি একই অনুভূমিক তলে অবস্থান করিবে এবং থার্মোমিটারের পাঠও স্থির তাপমাত্রা নির্দেশ করিবে।

এই পরীক্ষার দ্বারা নির্দেশিত হয় স্ফুটনাঙ্কে জলীয় বাষ্পের চাপ বাহিরের বাতাসের প্রযুক্ত চাপের সমান। অন্যথায় পারদশীর্ষদ্বয় একই অনুভূমিক তলে অবস্থান করিত না।

8·11. স্ফুটনের নিয়মাবলী (Laws of ebullition):

(1) প্রমাণ বায়ুচাপে বিভিন্ন তরলের স্ফুটনাঙ্ক বিভিন্ন। যেমন, প্রমাণ বায়ুচাপে বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C, কোহলের স্ফুটনাঙ্ক 78°·3C ইত্যাদি।

(2) তরলের উপরে বায়ুমণ্ডলের চাপ-বৃদ্ধি এবং হ্রাসে তরলের স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি ও হ্রাস পায়।

(3) তরলের উপর কোন নির্দিষ্ট চাপে দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক বিশুদ্ধ দ্রাবকের স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা অধিক। যেমন, বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনাঙ্ক যদি 100°C হয়, তাহা হইলে ঐ জলে কিছু পরিমাণ লবণ মিশাইয়া যে দ্রবণটি হয় উহার স্ফুটনাঙ্ক প্রায় 109°C পরিলক্ষিত হইয়া থাকে।

প্রমাণ চাপে কয়েকটি বিভিন্ন তরলের স্ফুটনাঙ্কের তালিকা

তরল		স্ফুটনাঙ্ক
ইথার (Ether)	—	35°C
কোহল (Alcohol)	—	78°·3C
বেনজিন (Benzene)	—	80°·4C
বিশুদ্ধ জল (Distilled water)	—	100°C
গ্লিসারিন (Glycerine)	—	280°C
তিসির তেল (Linseed oil)	—	316°C
সালফিউরিক অ্যাসিড (Sulphuric acid)	—	325°C
পারদ (Mercury)	—	357°C

সারাংশ

স্ফুটন ও বাষ্পীভবন প্রক্রিয়ায় তরল বাষ্পে পরিণত হয়।

স্ফুটনাঙ্ক—যে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোন পাত্রস্থ তরল টগ্‌বগ্ করিয়া ফুটিতে থাকে

তাহাকে বলা হয় তরলের স্ফুটনাঙ্ক। কতকগুলি বিষয়ের উপর তরলের স্ফুটনাঙ্ক নির্ভরশীল। যেমন—(1) তরলের উন্মুক্ত তলের উপর বায়ুর চাপ ইত্যাদি, (2) তরলে অন্য কোন বস্তুর মিশ্রণ, (3) তরলের পাত্রের উপাদান এবং পরিচ্ছন্নতা।

বাষ্পীভবন—তরলের ক্রমশঃ বাষ্পে পরিণত হওয়াকে বলা হয় বাষ্পীভবন। বাষ্পীভবন কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সংঘটিত হয় না। বাষ্পীভবন কতকগুলি বিষয়ের উপর নির্ভরশীল; যথা—(1) তরলের প্রকৃতি, (2) তরলের উন্মুক্ত তলের বিস্তৃতি, (3) তরলের উষ্ণতা, (4) বায়ুপ্রবাহ, এবং (5) বায়ুর চাপ।

দ্রুত বাষ্পায়নে শৈত্যের উৎপত্তি হয়। জল-জমানো পরীক্ষা দ্বারা ইহার সত্যতা-প্রমাণ করা হয়।

তরলের উপর চাপের হ্রাস এবং বৃদ্ধিতে তরলের স্ফুটনাঙ্কের হ্রাসবৃদ্ধি হয়। ইহা ফ্রাঙ্কলীন-এর পরীক্ষা এবং রেনো-র পরীক্ষার সাহায্যে দেখানো হয়। তরলের স্ফুটনাঙ্কে উহার বাষ্পের চাপ তরলের উপর প্রযুক্ত বাহিরের চাপের সমান। পরীক্ষাগারে ইহা একমুখ-বন্ধ 'U' নলের সাহায্যে দেখানো হয়।

প্রশ্নমালা

1. তরলের স্ফুটনাঙ্ক বলিতে কি বোঝ? কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর ইহা নির্ভর করে? জল যে 100°C তাপমাত্রার উপরের কিংবা নীচের তাপমাত্রায় ফুটিতে পারে তাহা একটি পরীক্ষার দ্বারা বুঝাইয়া দাও। [What do you mean by the boiling-point of a liquid? Upon what factors does boiling-point depend? Describe an experiment to show that water can be made to boil at temperatures higher or lower than 100°C.]

2. পরীক্ষার সাহায্যে দেখাও যে, তরলের স্ফুটনকালে তরলের উপরিস্থিত বায়ুমণ্ডলের চাপ তরলের বাষ্পের চাপের সমান। [Show experimentally that vapour pressure of a liquid is equal to the pressure of the atmosphere under which the liquid is made to boil.]

3. স্ফুটনের নিয়মাবলী বিবৃত কর। উচ্চ পর্বতের উপর কোন জিনিস ভালোভাবে সিদ্ধ করা যায় না কেন? [State the laws of boiling. How is it that things cannot be cooked properly on high mountains?]

4. Franklin-এর পরীক্ষা বর্ণনা কর এবং ঐ পরীক্ষার সাহায্যে কি [illegible] হয় তাহা বুঝাইয়া দাও। [Describe Franklin's experiment a[illegible] what it indicates.]

5. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি বুঝাইয়া দাও—

(a) গ্রীষ্মের দিনে পাখার হাওয়ায় আরাম বোধ হয় কেন ?

(b) ভিজা কাপড় গায়ে মুড়িয়া হাওয়াতে বসিয়া থাকা অনুচিত কেন ?

(c) রাস্তায় জল দেওয়ার পর বাতাস অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা বোধ হয় কেন ?

(d) গরমের দিনে ধাতব পাত্রের জল ঠাণ্ডা না হইয়া কুঁজার জল ঠাণ্ডা হয় কেন ?

(e) গরমের দিনে দরজার সামনে খস্‌খস্‌ ঝুলাইয়া উহাকে জলসিক্ত করিলে ঘর ঠাণ্ডা বোধ হয় কেন ?

(f) থার্মোমিটার-কুণ্ডের গায়ে ভিজা স্যাকড়া জড়াইলে থার্মোমিটারের পাঠ নামিয়া আসে কেন ?

[Explain the following—

(a) A fan gives a feeling of comfort during hot weather.

(b) Why is it unwise to sit in a draught with wet clothes on ?

(c) Why is air cooler when the streets have been watered ?

(d) Why does water become cooler when kept in an earthenware vessel than in a metal vessel in hot weather ?

(e) What is the cause of the cooling effect produced in a room when grass (*khas-khas*)-screen moistened with water is placed in front of the door ?

(f) Why is the reading of a thermometer lowered by wrapping a wet rug round its bulb ?]

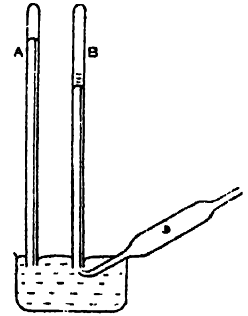
নবম পরিচ্ছেদ

সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্প

(Saturated and Unsaturated Vapour)

9·1. সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্প সম্পর্কে সহজ পরীক্ষা :

পরীক্ষা : আনুমানিক এক মিটার দৈর্ঘ্যের *A* এবং *B* দুইটি ব্যারোমিটার নল পারদপূর্ণ কর এবং উহাদের উল্টাইয়া খাড়াভাবে একটি পারদপাত্রে পাশাপাশি স্থাপন কর (9A চিত্র)। উভয় নলে পারদশীর্ষ একই উচ্চতায় অবস্থান করে। পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা বাতাসের চাপ নির্দেশ করে। এখন পিপেটের সাহায্যে *B* নলের মধ্যে ফোঁটা ফোঁটা জল প্রবেশ করাও। পারদ অপেক্ষা জল হাল্কা বিধায় ঐ জলের ফোঁটাগুলি পারদ-স্তম্ভ ভেদ করিয়া *B* নলের 'টরিসেলির শূন্যস্থানে' পৌঁছানো মাত্র উহারা বাষ্পে পরিণত হয়। সুতরাং ঐ স্থানে জলীয় বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি পাইতে থাকায় *B* নলের পারদশীর্ষ ক্রমশঃ নীচে নামিতে থাকে।



চিত্র 9A

উক্ত পদ্ধতিতে *B* নলে জল প্রবেশ করানো চলিতে থাকিবে যেপর্যন্ত না পারদশীর্ষের উপর কিয়ৎপরিমাণ জল মজুত হয়। অতঃপর আরও কিছু জল প্রবেশ করাইলে দেখা যায় পারদশীর্ষ আর উল্লেখযোগ্যভাবে নামিয়া আসে না।

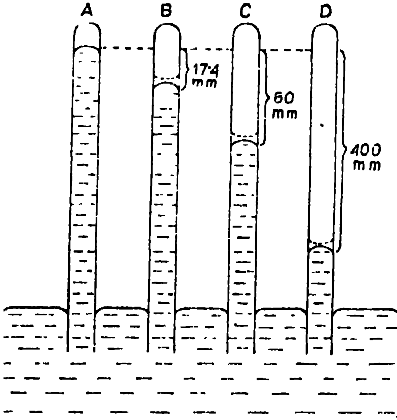
এমতাবস্থায় *B* নলের পারদশীর্ষের উপরিভাগের 'টরিসেলির শূন্যস্থান'কে বলা হয় **জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত**—অর্থাৎ ঐ আবদ্ধ স্থানের জলীয় বাষ্প ধারণ করিবার আর ক্ষমতা নাই।

B নলের উপরিভাগ সংপৃক্ত থাকাকালীন নল দুইটির পারদ-স্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য নির্দেশ করে **সংপৃক্ত বাষ্পচাপ** এবং এই চাপই পরীক্ষাকালীন তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপ।

'টরিসেলির শূন্যস্থান' সংপৃক্ত হওয়ার পূর্ব পর্যন্ত ঐ স্থানের বাষ্প[illegible] **অসংপৃক্ত বাষ্প**। এ-অবস্থায় *B* নলের উপরিভাগ আরও বাষ্প ধার[illegible]রিতে

পারে। বাষ্পের এই অসংপৃক্ত অবস্থা থাকাকালীন A এবং B নল দুইটির পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা-পার্থক্য নির্দেশ করে **অসংপৃক্ত বাষ্পচাপ**। এই চাপ আনুষঙ্গিক সংপৃক্ত বাষ্পচাপ অপেক্ষা কম নির্দেশিত হইয়া থাকে।

বিভিন্ন তরল লইয়া বর্ণিত পরীক্ষাটির পুনরাবৃত্তি করিলে দেখা যায় **একই তাপমাত্রায় বিভিন্ন তরলের আনুষঙ্গিক সংপৃক্ত বাষ্পচাপ বিভিন্ন।**



চিত্র 9B

9B চিত্রে A নলটি সাধারণ ব্যারোমিটার হিসাবে ব্যবহৃত হইয়াছে। B, C এবং D নল তিনটির মধ্যে যথাক্রমে জল, কোহল এবং ইথার প্রবেশ করাইয়া ঐ নল তিনটির 'টরিসেলির শূন্যস্থান' আনুষঙ্গিক বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত করা হইয়াছে। চিত্রে দেখানো হইয়াছে 20°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ 17·4 mm., সংপৃক্ত কোহল বাষ্পচাপ 60 mm., এবং সংপৃক্ত ইথার বাষ্পচাপ 400 mm.।

অতঃপর মনে কর, B নলের উপরিভাগ ঈষৎ উষ্ণ করা হইল। দেখা যাইবে ঐ নলের পারদশীর্ষ নীচে নামিয়া গিয়াছে। ইহাদ্বারা প্রমাণিত হয় **উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে সংপৃক্ত বাষ্পচাপের বৃদ্ধি হয়।** এখন মনে কর, C নলের উপরিভাগ ঈষৎ শীতল করা হইল। দেখা যাইবে পারদশীর্ষ উপরের দিকে কিছু পরিমাণ উঠিয়া গিয়াছে। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হয় **উষ্ণতা-হ্রাসে সংপৃক্ত বাষ্পচাপ হ্রাস পায়।**

পরিশেষে B, C এবং D নল তিনটির যে-কোন একটির তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রাখিয়া উহাকে পারদপাত্রে কিছু পরিমাণ ডুবাইলে যদিও পারদশীর্ষের উপরিভাগের 'টরিসেলির শূন্যস্থান' কমিয়া যাইবে কিন্তু পারদ-স্তম্ভের উচ্চতার পরিবর্তন হইবে না। ইহাদ্বারা প্রমাণিত হয় **তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকিলে কোন আবদ্ধ স্থানের সংপৃক্ত বাষ্পের আয়তন-হ্রাসে ঐ বাষ্পচাপের পরিবর্তন হয় না।**

9·2. সংপৃক্ত বাষ্পের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of saturated vapour):

(1) একই তাপমাত্রায় বিভিন্ন তরলের সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ বিভিন্ন।

(2) তাপমাত্রার বৃদ্ধি ও হ্রাসে সংপৃক্ত বাষ্পচাপের বৃদ্ধি ও হ্রাস হইয়া থাকে।

(3) কোন আবদ্ধ স্থানে সংপৃক্ত বাষ্পের সহিত অপর কোন গ্যাসের উপস্থিতি ঐ বাষ্পচাপের পরিবর্তন ঘটাইতে পারে না। এক্ষেত্রে, ধরিয়া লওয়া হয় যে, গ্যাসের সহিত বাষ্পের রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয় না।

30°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ 31·5 mm. ; যখন ঐ তাপমাত্রায় বাতাস জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হয় তখনও ঐ বাষ্পচাপ 31·5 mm. পরিলক্ষিত হইবে।

(4) সংপৃক্ত বাষ্প গ্যাসের নিয়মগুলি (gas-laws) মানিয়া চলে না। যেমন, কোন আবদ্ধ স্থানের সংপৃক্ত বাষ্পের তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রাখিয়া ঐ স্থানের আয়তন কমাইলে ঐ বাষ্পের চাপ একই থাকে, কিন্তু উহার কিয়দংশ ঘনীভূত হইয়া তরলে পরিণত হয়।

9·3. অসংপৃক্ত বাষ্পের (Unsaturated vapour) বৈশিষ্ট্য :

(1) অসংপৃক্ত বাষ্প চার্লস-এর (Charles) সূত্র মানিয়া চলে। অর্থাৎ চাপ অপরিবর্তিত রাখিয়া কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ অসংপৃক্ত বাষ্পের আয়তন উহার চরম স্কেলের তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

(2) অসংপৃক্ত বাষ্প বয়েল-এর (Boyle) সূত্র সীমিতভাবে মানিয়া চলে। অর্থাৎ কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কিয়ৎপরিমাণ অসংপৃক্ত বাষ্পের আয়তন-হ্রাসের সহিত উহার চাপ বৃদ্ধি পাইতে থাকে। পরিশেষে বর্ধিত চাপ যখন ঐ নির্দিষ্ট তাপমাত্রার সংপৃক্ত বাষ্পচাপের সমান হয়, তখন আয়তন-হ্রাসে বাষ্প তরলে পরিণত হয় কিন্তু উহার চাপ আর বৃদ্ধি পায় না।

9·4. সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্পের প্রধান পার্থক্য :

(1) সাধারণভাবে বলা হয়- সংপৃক্ত বাষ্প গ্যাসের নিয়ম মানিয়া চলে না। কিন্তু অসংপৃক্ত বাষ্প মোটামুটি গ্যাসের নিয়মগুলি মানিয়া চলে।

(2) কোন আবদ্ধ স্থান যদি প্রতিনিয়ত সংপৃক্ত বাষ্পপূর্ণ থাকে, তাহা হইলে তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে ঐ বাষ্পের চাপের বৃদ্ধি হয় ইহা সত্য, কিন্তু এই চাপবৃদ্ধি গ্যাসের নিয়ম অনুযায়ী হয় না। অসংপৃক্ত বাষ্পের ক্ষেত্রে ঐ চাপবৃদ্ধি গ্যাসের নিয়ম অনুযায়ী সংঘটিত হইয়া থাকে (অর্থাৎ এক্ষেত্রে, $P \propto T$)।

(3) কোন আবদ্ধ স্থান আংশিক তরলপূর্ণ থাকিলে, ঐ স্থান প্রতিনিয়ত তরলের বাষ্প-সংপৃক্ত থাকে। তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রাখিয়া ঐ স্থানের আয়তন-বৃদ্ধিতে কিয়ৎ-পরিমাণ তরল বাষ্পে পরিণত হয় এবং সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ একই থাকে।

যদি আবদ্ধ স্থান কেবলমাত্র বাষ্প-সংপৃক্ত (just saturated) থাকে, তাহ[illegible]লে

উহার আয়তন-বৃদ্ধিতে বাষ্প অসংপৃক্ত হয় এবং বয়েল-এর সূত্রানুযায়ী চাপ কমিয়া যায়। ঐ স্থানের আয়তন কমাইলে বাষ্প আংশিক তরলে পরিণত হয় এবং বাষ্প সংপৃক্তই থাকে। সুতরাং বাষ্পের চাপের পরিবর্তন হয় না।'

বিভিন্ন তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপের রেনো-র তালিকা

তাপমাত্রা	চাপ (পারদ-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য হিসাবে)	তাপমাত্রা	চাপ (পারদ-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য হিসাবে)
– 10°C	2·093 mm.	50°C	91·982 mm.
0°C	4·600 mm.	80°C	354·643 mm.
10°C	9·165 mm.	100°C	760·00 mm.
20°C	17·391 mm.	120°C	1491·28 mm.
30°C	31·54 mm.	200°C	11688·96 mm. ইত্যাদি

উদাহরণ। (1) মনে কর, যখন ব্যারোমিটারের পাঠ 760 mm., তখন এক লিটার আয়তনের বায়ু একটি গ্যাস-জারে জল অপসারিত করিয়া 30°C তাপমাত্রায় সংগৃহীত হইল। ঐ পাত্রস্থ বায়ুর নিজের চাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। (30°C-এ সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ = 31·5 mm.) [Suppose when the barometer reads 760 mm., one litre of air is collected in a gas-jar at 30°C by displacement of water. Calculate the pressure of air alone collected in the gas-jar. Staturated pressure of water vapour at 30°C is given 31·5 mm.]

উত্তর। যখন জল অপসারিত করিয়া গ্যাস-জারে বায়ু সংগ্রহ করা হয়, তখন বুঝিতে হইবে যে, ঐ বায়ু জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত। সুতরাং গ্যাস-জারে ঐ সংপৃক্ত বায়ুর মোট চাপ এক্ষেত্রে ব্যারোমিটারে নির্দেশিত পাঠ, অর্থাৎ 760 mm.-এর সমান।

মোট চাপ $760 = P$ (সংগৃহীত বায়ুর নিজস্ব চাপ) $+ f$ (30°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ) ;

সুতরাং, $P + f = 760$,

অথবা, $P = 760 - f$.

সুতরাং, গ্যাস-জারে সংগৃহীত বাতাসের নিজস্ব চাপ,

$$P = 760 - 31{\cdot}5 = 728{\cdot}5 \text{ mm.}$$

(2) 1-নং উদাহরণে সংগৃহীত বাতাসের আয়তন প্রমাণ চাপ এবং তাপমাত্রায় নির্ণয় কর। [Calculate the volume of air alone collected in the example No. (1) at normal temperature and pressure.]

উত্তর। আমরা জানি বাতাসের প্রমাণ চাপ, $P_0 = 760$ mm ;
প্রমাণ তাপমাত্রা চরম স্কেলে, $T_0 = 273°$ Abs.

মনে কর, প্রমাণ চাপ এবং তাপমাত্রায় সংগৃহীত বাতাসের আয়তন, V_0 ;
30°C তাপমাত্রায় সংগৃহীত বাতাসের আয়তন,
$V = 1$ লিটার $= 1000$ c.c. ;
সংগৃহীত বাতাসের তাপমাত্রা, T Abs. $= 30 + 273$
$= 303°$ Abs. ;
সংগৃহীত বায়ুব নিজস্ব চাপ, $P = 728{\cdot}5$ mm. ।
গ্যাস-সূত্রদ্বয়ের সমন্বয়ের সমীকরণ হইতে আমরা জানি,

$$\frac{VP}{T} = \frac{V_0 P_0}{T_0}$$

$$\therefore \quad V_0 = \frac{VP}{T} \times \frac{T_0}{P_0}$$

$$= \frac{1000 \times 728{\cdot}5 \times 273}{303 \times 760}$$

$$= \frac{25 \times 728{\cdot}5 \times 91}{101 \times 19} = 863{\cdot}64 \text{ c.c.}$$

সারাংশ

কোন স্থান বাষ্প-সংপৃক্ত হওয়ার অর্থ—ঐ স্থানের আর বাষ্পধারণের ক্ষমতা নাই। কোন স্থানে অসংপৃক্ত বাষ্প থাকার অর্থ—উহার আরও বাষ্পধারণের ক্ষমতা আছে। কোন তাপমাত্রায় সংপৃক্ত বাষ্পচাপ নির্দেশ করে ঐ তাপমাত্রায় ঐ বাষ্পের গরিষ্ঠ চাপ।

একই তাপমাত্রায় বিভিন্ন তরলের সংপৃক্ত বাষ্পচাপ বিভিন্ন। সংপৃক্ত বাষ্প গ্যাসের নিয়ম মানিয়া চলে না। অসংপৃক্ত বাষ্প মোটামুটি গ্যাসের নিয়ম মানিয়া চলে।

একাধিক ব্যারোমিটার নল ব্যবহার করিয়া সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্পের আচরণ সহজভাবে বুঝানো হয়।

প্রশ্নমালা

1. সংপৃক্ত এবং অসংপৃক্ত বাষ্পচাপ বলিতে কি বোঝ? উহা[illegible] জন্য একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। [What do you mean by satur[illegible]d and

unsaturated vapour ? Describe a suitable experiment to explain them.]

2. সংপৃক্ত এবং অসংপৃক্ত বাষ্পের বৈশিষ্ট্যগুলি আলোচনা কর। [Discuss the characteristics of saturated and unsaturated vapour.]

3. কোন বদ্ধস্থান বাষ্পের দ্বারা সংপৃক্ত কি অসংপৃক্ত তাহা কিরূপে বুঝিতে পারিবে ? [How would you understand whether a closed space containing a vapour is saturated or not ?]

4. সংপৃক্ত এবং অসংপৃক্ত বাষ্পের পার্থক্যগুলি নির্ণয় কর। [Distinguish between saturated and unsaturated vapour.]

5. 100°C তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট স্থানের বায়ু জলীয় বাষ্প সংপৃক্ত। যখন আয়তন অপরিবর্তিত রাখিয়া ঐ স্থানের তাপমাত্রা 200°C-এ উন্নীত করা হয় তখন ঐ জলীয় বাষ্প মিশ্রিত বায়ুর মোট চাপ '2 atmospheres' পরিলক্ষিত হয়। এক্ষেত্রে প্রাথমিক অবস্থায় কেবলমাত্র বাতাসের নিজস্ব চাপ কত তাহা নির্ণয় কর। [A mass of air is saturated with water vapour at 100°C. On raising the temperature to 200°C, without change in volume, the mixture exerts a pressure of 2 atmospheres. What was the pressure due to air alone in the initial condition ?] [Patna, 1958] [*Ans.* 43·86 cm.]

6. পিস্টন-সংযুক্ত একটি চোঙ বায়ুশূন্য করিয়া উহার মধ্যে এরূপ পরিমাণ জল প্রবেশ করানো হইল যাহাতে চোঙের অভ্যন্তরস্থ স্থান 20°C তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্প দ্বারা কেবলমাত্র সংপৃক্ত হয়। এমতাবস্থায় নিম্নলিখিত প্রক্রিয়াগুলি চালাইলে কি ফল হইবে তাহা বর্ণনা কর—

(a) পিস্টনটিকে উপরের দিকে টানিয়া চোঙের অভ্যন্তরস্থ আয়তন বৃদ্ধি করা হইল।

(b) পিস্টনটিকে নীচের দিকে ঠেলিয়া চোঙের অভ্যন্তরস্থ আয়তন কমানো হইল।

(c) প্রথম অবস্থায় চোঙটির অভ্যন্তরের যে আয়তন তাহা অপরিবর্তিত রাখিয়া উহার তাপমাত্রা 50°C-এ উন্নীত করা হইল।

(d) চোঙটির আয়তন অপরিবর্তিত রাখিয়া চোঙের অভ্যন্তরের বায়ুর তাপমাত্রা 10°C-এ নামাইয়া আনা হইল।



[Into a cylinder exhausted of air and provided with a piston is [illegible] just enough water to saturate the space at 20°C. Describe what happens under the following conditions—

(a) The volume of the space is increased by pulling up the piston.

(b) The volume is diminished by pushing the piston down.

(c) The volume remaining as at first, the temperature is increased to 50°C.

(d) The volume remaining as at first, the temperature is lowered to 10°C.]

[*Hints* : (a) বাষ্পের চাপ কমিয়া যাইবে। (b) বাষ্পের চাপ অপরিবর্তিত থাকিবে এবং কিছু বাষ্প জলে রূপান্তরিত হইবে। (c) বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি পাইবে। (d) চাপ কমিয়া 10°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের সমান হইবে।]

দশম পরিচ্ছেদ

হাইগ্রোমিতি

(Hygrometry)

10·1. বাতাসে জলীয় বাষ্পের উপস্থিতি : আমরা জানি পৃথিবীর উপরিপৃষ্ঠের প্রায় তিন-চতুর্থাংশ জল ; যেমন—সমুদ্রের জল, নদীর জল, পুষ্করিণীর জল ইত্যাদি। এই জল প্রতিনিয়ত বাষ্পে পরিণত হইয়া পৃথিবীর উপরিস্থিত বাতাসে মিশিয়া থাকে। যদিও বাতাসে এই জলীয় বাষ্পের পরিমাণ নাইট্রোজেন, অক্সিজেন ইত্যাদি গ্যাসের তুলনায় খুবই নগণ্য, কিন্তু বাতাসে এই জলীয় বাষ্পের অবস্থিতি আমাদের উপেক্ষা করিবার উপায় নাই। কারণ ইহার উপস্থিতিতে আকাশে মেঘ, বৃষ্টি, শিশির, কুয়াশা ইত্যাদি নানারূপ প্রাকৃতিক ঘটনার সৃষ্টি হয়। আবার আমাদের দৈহিক ক্লান্তিবোধ করা, না-করাও অনেকটা বায়ুর আর্দ্রতা এবং শুষ্কতার উপর নির্ভর করে। শুষ্ক বায়ুতে কাজ করিতে আমাদের বিশেষ ক্লান্তিবোধ হয় না, কিন্তু আর্দ্র বায়ুতে আমরা সহজেই অল্প পরিশ্রমে ক্লান্ত হইয়া পড়ি।

10·2. বায়ুর শুষ্কতা ও আর্দ্রতা : নিম্নলিখিত উদাহরণের সাহায্যে বায়ুর শুষ্কতা এবং আর্দ্রতা বুঝানো হইল।

রেনো-র তালিকা হইতে আমরা জানি 25°C তাপমাত্রায় বায়ু জলীয় বাষ্প-সংপৃক্ত হইলে এক ঘনমিটার (1 cubic metre) বায়ুতে 22·9 gms. জলীয় বাষ্প বর্তমান থাকে এবং 30°C তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্প-সংপৃক্ত এক ঘনমিটার বায়ুতে 30·1 gms. বাষ্প বর্তমান থাকে।

এখন মনে কর, কোন একদিন 25°C তাপমাত্রায় এক ঘনমিটার বায়ু ধারণ করিতেছে 22 gms. জলীয় বাষ্প এবং অপর আর একদিন 30°C তাপমাত্রায় ঐ আয়তনের বায়ু ধারণ করিতেছে 26 gms. বাষ্প। এক্ষেত্রে প্রথম দিনের তুলনায় দ্বিতীয় দিন বাতাসে জলীয় বাষ্পের উপস্থিতি যদিও অধিক, তথাপি দ্বিতীয় দিন শুষ্ক এবং প্রথম দিন আর্দ্র মনে হইবে। সুতরাং **বাতাসের আর্দ্রতা বা শুষ্কতা নির্ভর করে বাতাস কি পরিমাণ জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত বা অসংপৃক্ত তাহার উপর।**

[illegible] হাইগ্রোমিতি বা আর্দ্রতা-বিজ্ঞান : বাতাসে জলীয় বাষ্পের [illegible]স্থিতি যেসকল প্রাকৃতিক ঘটনাবলীর সৃষ্টি করে তাহাদের বিশদভাবে

আলোচনা আর্দ্রতা-বিজ্ঞানের অন্তর্ভূত। জড়বিজ্ঞানের এই অংশ পাঠকালীন নিম্নবর্ণিত কয়েকটি বিষয় সম্পর্কে মোটামুটি ধারণা থাকা আবশ্যক:

যথা—(1) শিশিরাঙ্ক (dew-point) এবং (2) আর্দ্রতা (humidity)—(a) চরম আর্দ্রতা (absolute humidity) এবং (b) আপেক্ষিক আর্দ্রতা (relative humidity)।

(1) শিশিরাঙ্ক—যে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোন স্থানের বায়ুর জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণায়, অর্থাৎ শিশিরবিন্দুতে পরিণত হয়, সেই তাপমাত্রাকে বলা হয় শিশিরাঙ্ক।

আমরা জানি কোন স্থানের বায়ুর জলীয় বাষ্প ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণায় পরিণত হইতে থাকিলে ঐ স্থানের বায়ু জলীয় বাষ্পের দ্বারা সংপৃক্ত হয়। সুতরাং শিশিরাঙ্ক নির্দেশিত তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ বায়ুতে বর্তমান জলীয় বাষ্পের চাপের সমান। এ-হিসাবে শিশিরাঙ্কের বিকল্প সংজ্ঞা দেওয়া হইয়া থাকে—

বাতাসে যে জলীয় বাষ্প বর্তমান তাহার চাপের পরিমাণ যে নির্দিষ্ট তাপমাত্রার সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের সমান, সেই তাপমাত্রাকে বলা হয় শিশিরাঙ্ক।

সুতরাং শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করিতে পারিলে, রেনো-র তালিকার সাহায্যে বায়ুতে বর্তমান জলীয় বাষ্পের চাপ নির্ণয় করা সম্ভব হয়।

উদাহরণ হিসাবে মনে কর, শিশিরাঙ্ক নির্দেশিত হইল 15°C। রেনো-র তালিকা অনুযায়ী দেখা যায় ঐ তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ 12·7 mm.। সুতরাং পরীক্ষাকালীন বায়ুতে যে জলীয় বাষ্প বর্তমান তাহার চাপ 12·7 mm.।

2 (a) চরম আর্দ্রতা—কোন স্থানে এক ঘনমিটার বাতাসে যত গ্রাম জলীয় বাষ্প বর্তমান, উহা নির্দেশ করে ঐ স্থানের বাতাসের চরম আর্দ্রতা।

2 (b) আপেক্ষিক আর্দ্রতা (Relative Humidity—সংক্ষেপে R. H.)—কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় এক ঘনমিটার বাতাসে যত গ্রাম জলীয় বাষ্প বর্তমান এবং ঐ তাপমাত্রায় বাতাস জলীয় বাষ্প-সংপৃক্ত করিতে এক ঘনমিটার বাতাসে যত গ্রাম জলীয় বাষ্প থাকা প্রয়োজন, এই দুই ভরের অনুপাত নির্দেশ করে আপেক্ষিক আর্দ্রতা।

সুতরাং, আপেক্ষিক আর্দ্রতা—R. H.

$$= \frac{\text{কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় এক ঘনমিটার বাতাসে বর্তমান জলীয় বাষ্পের ভর}}{\text{ঐ তাপমাত্রায় ঐ আয়তনের বাতাসে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের ভর}}।$$

আমরা জানি কোন নির্দিষ্ট আয়তনের বাতাসে জলীয় বাষ্পের চাপের আনুপাতিক। সুতরাং, যদি '*f*' নির্দেশ করে কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বাতাসে

বর্তমান জলীয় বাষ্পের চাপ এবং 'P' নির্দেশ করে ঐ তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ, তাহা হইলে—

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা (R.H.)} = \frac{f}{P}$$

$$= \frac{\text{কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বাতাসে বর্তমান জলীয় বাষ্পচাপ}}{\text{ঐ তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ}}\text{।}$$

আবার, শিশিরাঙ্কের সংজ্ঞা হিসাবে আমরা জানি, কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রার বাতাসে যে জলীয় বাষ্প বর্তমান তাহার চাপ ঐ বায়ুর শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের সমান ;

$$\text{সুতরাং, R.H.} = \frac{\text{পরীক্ষাধীন বাতাসের শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{ঐ বায়ু জলীয় বাষ্প-সংপৃক্ত হইতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পচাপ}}\text{।}$$

উদাহরণের সাহায্যে আপেক্ষিক আর্দ্রতার বর্ণিত সংজ্ঞা তিনটি বুঝানো হইল :

(১) মনে কর, পরীক্ষাধীন বাতাসের তাপমাত্রা 25°C এবং ঐ সময় বাতাসের এক ঘনমিটার আয়তনে 12·8 gms. জলীয় বাষ্প বর্তমান। রেনো-র তালিকা হইতে জানা যায় ঐ তাপমাত্রার বাতাস জলীয় বাষ্প-সংপৃক্ত হইতে হইলে উহার এক ঘনমিটার আয়তনে 22·9 gms. জলীয় বাষ্প থাকা প্রয়োজন।

$$\text{সুতরাং, R.H.} = \frac{12·8}{22·9} = ·56 \text{ (আনুঃ), অথবা শতকরা } 56\%\text{।}$$

(২) মনে কর, পরীক্ষাধীন বাতাসে যে জলীয় বাষ্প বর্তমান তাহার চাপ, $f = 12·7$ mm.। ঐ বাতাস জলীয় বাষ্প-সংপৃক্ত হইতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের চাপ, $P = 23·5$ mm.।

$$\text{সুতরাং, R.H.} = \frac{f}{P} = \frac{12·7}{23·5} = ·54\text{, অথবা শতকরা } 54\%\text{।}$$

(৩) মনে কর, পরীক্ষাধীন বাতাসের শিশিরাঙ্ক 15°C এবং বাতাসের তাপমাত্রা 30°C। রেনো-র তালিকা হইতে জানা যায়, 15°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ, $f = 12·7$ mm. এবং 30°C-এ সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ, $P = 31·5$ mm.।

$$\text{সুতরাং, R.H.} = \frac{f}{P} = \frac{12·7}{31·5} = ·403\text{, অথবা শতকরা } 40·3\%\text{।}$$

10·4. হাইগ্রোমিটার (Hygrometer) : যে যন্ত্রের সাহায্যে [illegible]সের আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা হয় তাহাকে **হাইগ্রোমিটার** অর্থাৎ [illegible]ক **আর্দ্রতা নিরূপণ যন্ত্র'** বলা হয়। সাধারণতঃ আমরা তিনপ্রকার হাইগ্রো[illegible]টারের সহিত পরিচিত। যথা—

(1) শিশিরাঙ্ক হাইগ্রোমিটার (Dew-Point Hygrometer) ;

(2) শুষ্ক ও আর্দ্র কুণ্ড হাইগ্রোমিটার (Dry and Wet Bulb Hygrometer) ;

(3) রাসায়নিক হাইগ্রোমিটার (Chemical Hygrometer)।

[বর্তমানে রাসায়নিক হাইগ্রোমিটার আলোচিত হইবে না।]

(1) **শিশিরাঙ্ক হাইগ্রোমিটার**—এই যন্ত্রের সাহায্যে আমরা প্রথমতঃ কোন স্থানের বাতাসের তাপমাত্রা এবং সরাসরিভাবে ঐ বাতাসের শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করিয়া থাকি। অতঃপর রেনো-র তালিকা হইতে ঐ দুই তাপমাত্রার আনুষঙ্গিক সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ দেখিয়া লই। উহাদের অনুপাত নির্দেশ করে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা।

নিম্নে কয়েকটি শিশিরাঙ্ক হাইগ্রোমিটার আলোচিত হইল—

(ক) **সাধারণ হাইগ্রোমিটার (Ordinary Hygrometer)**—ইহা আলোড়কসহ আংশিক জলপূর্ণ, মসৃণ গাত্রের কাচের গ্লাস দ্বারা গঠিত। এই পাত্রের মধ্যে একটি থার্মোমিটার ঝুলানো থাকে।

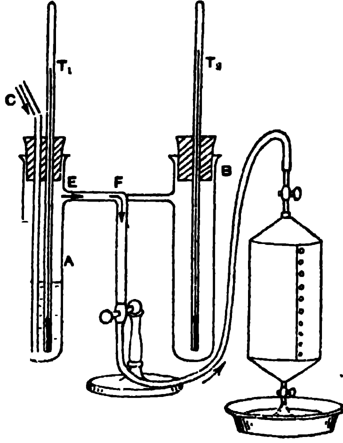
পরীক্ষা-প্রারম্ভে গ্লাসের জলের তাপমাত্রা দেখ। এই তাপমাত্রা নির্দেশ করে পরীক্ষাগারে বাতাসের তাপমাত্রা। এখন গ্লাসের জলে বরফ-কুচি দিতে থাক এবং আলোড়কের সাহায্যে জল নাড়িতে থাক। এই প্রক্রিয়ায় জলসহ গ্লাসটি এবং উহার পার্শ্ববর্তী বায়ু ক্রমাগত শীতল হইতে থাকিবে এবং থার্মোমিটারের পাঠ নামিয়া আসিবে। শেষপর্যন্ত বাতাসে অবস্থিত জলীয় বাষ্প ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণায় গ্লাসের গাত্রে জমিতে থাকিবে এবং গাত্র অস্পষ্ট দেখাইবে। এই অবস্থায় থার্মোমিটারের পাঠ লও। এখন বরফ-কুচি দেওয়া বন্ধ কর কিন্তু পূর্বের ন্যায় জল নাড়িতে থাক। লক্ষ্য রাখ, কখন গ্লাসের গাত্র পরিষ্কার দেখাইতে আরম্ভ করে। এই সময় পুনরায় থার্মোমিটারের পাঠ লও। এই পাঠ দুইটির গড় নির্দেশ করে শিশিরাঙ্ক।

আপেক্ষিক আর্দ্রতার গণনা—মনে কর, পরীক্ষাকালীন জল ও বাতাসের তাপমাত্রা 30°C এবং ঐ তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ 31·5 mm.। অতঃপর মনে কর, পরীক্ষার সাহায্যে নির্ণীত শিশিরাঙ্ক 15°C এবং ঐ তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ 12·7 mm.।

সুতরাং, $\text{R. H.} = \frac{12 \cdot 7}{31 \cdot 5} = \cdot 403$, অথবা শতকরা 40·3%।

(খ) **রেনো-র হাইগ্রোমিটার (Regnault's Hygromete**[illegible] সাহায্যে সঠিকভাবে শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করিয়া বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রত[illegible]া হইয়া থাকে।

যন্ত্রের বিবরণ—10A চিত্রে যন্ত্রটি দেখানো হইয়াছে। চিত্রানুযায়ী A ও B দুইটি মোটা কাচের নল। উহাদের উভয়েরই নীচের অংশ পাতলা চক্‌চকে রূপার পাত্তের তৈয়ারী। B নলটি A নলের অনুকৃতি (dummy), উহার মধ্যে পরীক্ষাকালীন বাতাস থাকে এবং T_2 থার্মোমিটারের সাহায্যে ঐ বাতাসের তাপমাত্রা নির্ণয় করা হয়। A নলটি আংশিক ইথার-পূর্ণ। এই ইথারের মধ্যে T_1 থার্মোমিটারের কুণ্ড এবং CD নলের নীচের খোলা মুখ ডুবানো থাকে। EF পার্শ্বনলটি A এবং বায়ু-শোষক পাত্রের (Aspirator) সহিত সংযোগ রক্ষা করে।



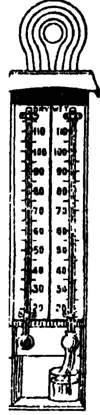
চিত্র 10A

কার্যপদ্ধতি—পরীক্ষা-প্রারম্ভে T_2 থার্মোমিটারের পাঠ লও। এই পাঠ নির্দেশ করে বাতাসের তাপমাত্রা। এখন বায়ু-শোষকটির নীচের প্যাঁচকল খুলিয়া সূক্ষ্মধারায় উহা হইতে জল বাহির করাইতে থাক। দেখিবে, এইসঙ্গে বাহিরের বাতাস CD নলের সাহায্যে ইথারে বুদ্‌বুদ সৃষ্টি করিয়া A নলে প্রবেশ করিতে থাকে। ইথারে বায়ুর এই বুদ্‌বুদ-সৃষ্টিতে সমগ্র ইথার আলোড়িত হয় এবং উহার দ্রুত বাষ্পীভবন হইয়া থাকে। এই দ্রুত বাষ্পায়নে শৈত্যের সৃষ্টি হয়। ফলে অনতিবিলম্বে A নলের রূপার অংশ ও উহার সন্নিহিত বাতাস শীতল হইতে থাকে। পরিশেষে তাপমাত্রা কমিয়া শিশিরাঙ্কে আসিয়া পৌঁছায় এবং A নলের রৌপ্য-অংশে শিশির জমিয়া উহার গাত্র B নলের তুলনায় অনুজ্জ্বল দেখাইতে থাকে। এই অবস্থায় T_1 থার্মোমিটারের পাঠ লও। অতঃপর প্যাঁচকল বন্ধ করিয়া বায়ুপ্রবাহ বন্ধ কর এবং লক্ষ্য রাখ কখন রৌপ্যগাত্র পুনরায় উজ্জ্বল দেখাইতে আরম্ভ করে। এই সময় T_1 থার্মোমিটারের পাঠ লও। T_1 থার্মোমিটারের পাঠ দুইটির গড় নির্দেশ করে শিশিরাঙ্ক।

এখন উদাহরণের সাহায্যে আপেক্ষিক আর্দ্রতার গণনা বুঝানো হইল। মনে কর, নির্ণীত শিশিরাঙ্ক 10°C এবং বাতাসের তাপমাত্রা 25°C। রেনো-র তালিকা হইতে জানা যায়, 10°C-এ সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ 9·1 mm. এবং 25°C-এ সংপৃক্ত চাপ 23·5 mm.।

সুতরাং, $\text{R. H.} = \frac{9·1}{23·5} = ·387$, অথবা শতকরা 38·7%।

(2) শুষ্ক ও আর্দ্র কুণ্ড হাইগ্রোমিটার অথবা ম্যাসন-এর হাইগ্রোমিটার (Dry and Wet Bulb Hygrometer or Mason's Hygrometer)— সরাসরিভাবে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করিবার জন্য এইপ্রকারের হাইগ্রোমিটার আবহাওয়া-অফিসে ব্যবহৃত হইয়া থাকে। 10B চিত্রে এই যন্ত্রটি দেখানো হইয়াছে। যন্ত্রটিতে একই রকমের দুইটি থার্মোমিটার পাশাপাশি একটি কাঠামোতে (frame) বসানো আছে। চিত্রের ডানদিকের থার্মোমিটার-কুণ্ডে ভিজা পলিতা জড়ানো এবং উহা সবসময় ভিজা রাখিবার জন্য ঐ পলিতার নীচের অংশ একটি জলপাত্রে ডুবানো থাকে (চিত্র দেখ)। অপর থার্মোমিটার-কুণ্ড শুষ্ক রাখা হয়। এই ব্যবস্থা হিসাবে যন্ত্রের নাম দেওয়া হইয়াছে শুষ্ক ও আর্দ্র কুণ্ড হাইগ্রোমিটার।



চিত্র 10B

ডানদিকের কুণ্ডে জড়ানো ভিজা পলিতা হইতে জল প্রতিনিয়ত বাষ্পীভবন হওয়াকালীন প্রয়োজনীয় লীন-তাপ ঐ কুণ্ড সরবরাহ করিয়া থাকে। ইহার ফলে আর্দ্র-কুণ্ড থার্মোমিটারটির পাঠ কমিতে থাকে, কিন্তু অপর থার্মোমিটারের পাঠ ঐপ্রকারে নামিয়া যায় না, উহা বাতাসের তাপমাত্রা নির্দেশ করে। সুতরাং থার্মোমিটার দুইটির পাঠের বৈষম্য পরিলক্ষিত হয়। উহাদের নির্দেশিত উষ্ণতা-পার্থক্য বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে।

এ-সম্পর্কে স্মিথ্‌সনের শুষ্ক ও আর্দ্র কুণ্ড হাইগ্রোমিটার তালিকা (Smithsonian Table) বিশেষভাবে কার্যকর।

এই তালিকা-দৃষ্টে—শুষ্ক-কুণ্ড থার্মোমিটারের পাঠ যখন 30°C, তখন সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ 31·6 mm.। শুষ্ক কুণ্ডের পাঠ অপরিবর্তিত থাকিয়া থার্মোমিটার দুইটির পাঠ-পার্থক্য যখন 3°C তখন বাতাসে বর্তমান সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ 24·6 mm. এবং পাঠ-পার্থক্য যখন 7°C তখন ঐ সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ 16·6 mm.।

সুতরাং, প্রথম ক্ষেত্রে, $R.H. = \frac{24·6}{31·6} \times 100 = 77·8\%$;

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $R.H. = \frac{16·6}{31·6} \times 10 = 52·5\%$.

এই গণনা হিসাবে, প্রথম ক্ষেত্রে উষ্ণতা-পার্থক্য কম নির্দেশ করে আর্দ্রতা অধিক—অর্থাৎ বায়ু অধিক আর্দ্র। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে উষ্ণতা-পার্থক্য অধিক করে আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম—অর্থাৎ বায়ু অধিক শুষ্ক।

উদাহরণ। (1) কোন একদিন যখন বাতাসের তাপমাত্রা 27°·9C, তখন দেখা গেল যে, ঐ দিনের শিশিরাঙ্ক 20°·4C। নিম্নলিখিত তথ্যের সাহায্যে ঐ দিনের আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় কর : [The dew-point is observed to be 20°·4C when the temperature of air is 27°·9C. Calculate the relative humidity from the following data :]

তাপমাত্রা	সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ (অথবা জলীয় বাষ্পের গরিষ্ঠ চাপ)
20°C	17·54 mm.
21°C	18·65 mm.
27°C	26·75 mm.
28°C	28·36 mm.

উত্তর। প্রথম দুইটি তথ্য হইতে আমরা শিশিরাঙ্কে জলীয় বাষ্পের গরিষ্ঠ চাপ নির্ণয় করিয়া থাকি।

20°C তাপমাত্রার কাছে 1°C তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে জলীয় বাষ্পের গরিষ্ঠ চাপের বৃদ্ধি = 18·65 − 17·54 = 1·11 mm. ;

সুতরাং ·4°C তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে জলীয় বাষ্পের গরিষ্ঠ চাপের বৃদ্ধি = 1·11 × ·4 = ·444 mm.।

সুতরাং যখন শিশিরাঙ্ক 20°·4C, তখন সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 17·54 + ·444 = 17·984 mm. ;

আবার শেষোক্ত তথ্য দুইটি দৃষ্টে, 27°C তাপমাত্রার কাছে 1°C তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে আনুষঙ্গিক জলীয় বাষ্পের গরিষ্ঠ চাপের বৃদ্ধি = 28·36 − 26·75 = 1·61 mm.।

সুতরাং ·9°C তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে আনুষঙ্গিক গরিষ্ঠ চাপের বৃদ্ধি = 1·61 × ·9 = 1·449 mm.।

সুতরাং 27°·9C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 26·75 + 1·449 = 28·199 mm.।

সুতরাং এক্ষেত্রে আপেক্ষিক আর্দ্রতা

$$= \frac{17{\cdot}984}{28{\cdot}199} \times 100$$

$$= 63{\cdot}8\% \text{ (আনুঃ)।}$$

(2) কোন বদ্ধ স্থানের বাতাসের তাপমাত্রা যখন 15°C, তখন ঐ স্থানের শিশিরাঙ্ক দেখা গেল 8°C। যদি ঐ বদ্ধ স্থানের বায়ুর তাপমাত্রা 10°C-এ নামিয়া আসে তবে

শিশিরাঙ্ক কিভাবে প্রভাবিত হইবে নির্দেশ কর। (7°C এবং 8°C-এ জলীয় বাষ্পের গরিষ্ঠ চাপ যথাক্রমে 7·49 mm. এবং 8·02 mm.). [The temperature of air in a closed space is observed to be 15°C and the dew-point 8°C. If the temperature falls to 10°C, how will the dew-point be affected ? (Pressure of aq. vapour in mms. of mercury at 7°C = 7·49 mm., at 8°C = 8·02 mm.)] [Pat. 1931, '40, '41]

উত্তর। আমরা জানি শিশিরাঙ্কে বাতাসের জলীয় বাষ্প সংপৃক্ত হয়। সুতরাং বর্তমান প্রশ্নে বদ্ধ স্থানের বায়ু 10°C তাপমাত্রা পর্যন্ত নামিয়া আসিলেও উহার জলীয় বাষ্প অসংপৃক্ত থাকে। আবার আমরা ইহাও জানি অসংপৃক্ত বাষ্প গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে। কাজেই এক্ষেত্রে জায়গাটি বদ্ধ রাখায় জলীয় বাষ্পের আয়তন অপরিবর্তিত থাকে।

সুতরাং, $$\frac{15^\circ\text{C-এ জলীয় বাষ্পের চাপ}}{10^\circ\text{C-এ জলীয় বাষ্পের চাপ}} = \frac{15+273}{10+273} = \frac{288}{283}.$$

আবার বাতাসের তাপমাত্রা যখন 15°C, তখন শিশিরাঙ্ক 8°C, সুতরাং 8°C-এ জলীয় বাষ্পের যে গরিষ্ঠ চাপ উহাই নির্দেশ করে 15°C-এ বাতাসে যে জলীয় বাষ্প বর্তমান তাহার চাপ। প্রশ্নদৃষ্টে, 8°C-এ জলীয় বাষ্পের গরিষ্ঠ চাপ 8·02 mm. ;

সুতরাং, 15°C-এ জলীয় বাষ্পের চাপ = 8·02 mm.

সুতরাং, $$\frac{8\cdot02}{10^\circ\text{C-এ জলীয় বাষ্পের চাপ}} = \frac{288}{283}.$$

$$\therefore\ 10^\circ\text{C-এ জলীয় বাষ্পের চাপ} = \frac{283 \times 8\cdot02}{288}$$

$$= 7\cdot88 \text{ mm.}$$

আবার প্রশ্নদৃষ্টে, 1°C তাপমাত্রা-পরিবর্তনে জলীয় বাষ্পের গরিষ্ঠ চাপের পরিবর্তন = 8·02 − 7·49 = ·53 mm. ;

সুতরাং, 8·02 − 7·88 অর্থাৎ 0·14 mm. চাপ-হ্রাসে শিশিরাঙ্কের হ্রাস $= \frac{\cdot14}{\cdot53} = \cdot26$°C (আসুঃ)।

সুতরাং বর্তমান শিশিরাঙ্ক = 8 − ·26 = 7°·74C.

10·5. বায়ুমণ্ডলে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের ঘনীভবন

(Condensation of water vapour in Nature) : বায়ুমণ্ডলের জলী[illegible] ঘনীভূত হইয়া বিভিন্ন রূপে প্রকাশিত হয়। নিম্নে সংক্ষেপে ইহার আলোচনা [illegible]

(1) শিশির (Dew)—সাধারণতঃ হেমন্ত এবং শীতকালের সকালবেলায় পৃথিবী-

পৃষ্ঠের সবুজ ঘাসপাতার উপর মুক্তাবিন্দুর ন্যায় যে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণা দেখিতে পাওয়া যায়, উহাকে শিশির বলা হয়।

দিনের বেলায় ভূপৃষ্ঠ সূর্যের তাপে উত্তপ্ত হওয়ায় বিস্তীর্ণ জলাশয় ইত্যাদির জল বাষ্পে পরিণত হয় এবং উহা বাতাসে অবস্থান করে। আবার রাত্রিকালে ভূপৃষ্ঠ তাপ বিকিরণ করিয়া ক্রমাগত শীতল হয়। সুতরাং ভূপৃষ্ঠের সন্নিকটস্থ বায়ু ঐ শীতল পৃষ্ঠের সংস্পর্শে আসিয়া ক্রমশঃ শীতল হইতে থাকে। শেষরাত্রে এই বায়ুর শীতলতা বৃদ্ধি পাইয়া শিশিরাঙ্কে পৌঁছায় এবং উহার অভ্যন্তরস্থ জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া শিশিরে পরিণত হয়।

মেঘমুক্ত আকাশ এবং অপেক্ষাকৃত স্থির বায়ু শিশির-উৎপত্তির অনুকূল। ভূপৃষ্ঠের সন্নিকটস্থ যেসমস্ত বস্তু দ্রুত তাপ বিকিরণ করিতে সক্ষম তাহাদের উপর শিশিরবিন্দু বেশী জমিতে পারে। এই হিসাবে গাছের পাতা, ঘাস ইত্যাদির উপর বেশী পরিমাণে শিশির জমে।

(2) তুহিন বা কণা-তুষার (Hoarfrost)—যখন শিশির জমিয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বরফ-কণায় পরিণত হয় তখন উহাকেই আমরা **তুহিন** বলি। যেসমস্ত বস্তুর উপর শিশির সঞ্চিত হয় তাহাদের তাপমাত্রা যখন 0°C-এর নীচে নামিয়া আসে তখনই এই তুহিনের উৎপত্তি সম্ভব হয়।

(3) ঘন বা গাঢ় কুয়াশা (কুহেলিকা) এবং কুয়াশা (Fog and Mist)—যখন বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প অনেকখানি স্থান জুড়িয়া ঘনীভূত হয় তখন উহাকে বলা হয় **কুয়াশা** (Mist)। এই কুয়াশা আবার যথেষ্ট পরিমাণে যখন কোনস্থানে ঘনীভূত হয় তখন উহাকে বলা হয় **কুহেলিকা** (Fog)। সুতরাং আমরা দেখিতে পাই কুয়াশা এবং কুহেলিকার উৎপত্তির কারণ একই। ভিজা মাটি, জল ইত্যাদির উত্তপ্ততা যখন উহাদের উপরিস্থিত বায়ু অপেক্ষা অধিক হয় তখন এই ভিজা মাটি ইত্যাদি হইতে উৎপন্ন জলীয় বাষ্প শীতল বায়ুর সংস্পর্শে আসে এবং ঐ স্থানে কুয়াশার সৃষ্টি হয়। শহরাঞ্চলে ধোঁয়া, ধূলিকণা ইত্যাদিকে বেষ্টন করিয়া গাঢ় কুয়াশার সৃষ্টি হয়। আমরা অনেকসময় এই গাঢ় কুয়াশাকে ইংরাজীতে 'smog' বলিয়া থাকি। অর্থাৎ Smoke (ধোঁয়া) এবং Fog (কুয়াশা)—এই দুইয়ের সমন্বয়ে 'smog' কথাটির উৎপত্তি। বেলা বৃদ্ধি হইতে থাকিলে সূর্যের তাপে বায়ুমণ্ডল ক্রমশঃ উত্তপ্ত হয়। কাজেই দেখা যায় বেলা-বৃদ্ধির সঙ্গে কুয়াশা এবং কুহেলিকা অদৃশ্য হইয়া যায়।

(4) মেঘ ও বৃষ্টি (Clouds and Rains)—উচ্চস্তরের বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া মেঘের সৃষ্টি করে।

জলীয় বাষ্প-মিশ্রিত বায়ু শুষ্ক বায়ু অপেক্ষা হাল্কা। সুতরাং উহা উপরের দিকে

উঠিতে থাকে এবং সঙ্গে সঙ্গে উহার চাপ কমিয়া যাওয়ায় প্রসারিত ও শীতল হইতে থাকে। যখন এই প্রক্রিয়া দ্রুত হয়, তখন জলীয় বাষ্প-মিশ্রিত বায়ুর তাপমাত্রা শিশিরাঙ্কে নামিয়া আসে এবং ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণার সৃষ্টি হয়। এই জলকণাগুলি যখন আকাশের ধূলিকণা বেষ্টন করিয়া অপেক্ষাকৃত বড় আকারের হয়, তখন উহাদের সমষ্টিকেই মেঘ বলা হইয়া থাকে।

এই জলকণাগুলি যখন এমন বড় আকার ধারণ করে যে, উহারা আর বাতাসে ভাসিয়া থাকিতে পারে না, তখন উহারা **বৃষ্টি**রূপে ভূপৃষ্ঠে পতিত হয়। যে মেঘে বর্ষণ হয় (অর্থাৎ জলদ মেঘ), উহা পৃথিবীর পৃষ্ঠ হইতে তিন-চার হাজার ফুট উর্ধ্বে অবস্থান করে।

(5) তুষার ও শিলা (Snow and Hail)—অধিক শীতে উচ্চস্তরের বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প সরাসরিভাবে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বরফ-কণায় পরিণত হইয়া তুষারের সৃষ্টি করে। সাধারণতঃ মেরু অঞ্চল ও উচ্চ পর্বতশৃঙ্গ তুষারাবৃত পরিলক্ষিত হয়। শীতকালে ঐসব অঞ্চলে কোন কোন সময় বরফ-কণাগুলি বায়ুতে ভাসিয়া না থাকিয়া বৃষ্টির ধারার ন্যায় পতিত হইতে থাকে। ইহাকে তুষারপাত (Snowfall) বলা হয়। দার্জিলিং-এ শীতকালে কোন কোন সময় তুষারপাত হইয়া থাকে।

জলদ মেঘের বৃষ্টিকণাগুলি পতিত হওয়ার কালে কোন কোন সময় হঠাৎ কোন শীতল বায়ুস্তরের সংস্পর্শে আসিয়া বিভিন্ন আকারের বরফ-টুকরায় পরিণত হয়। এই বরফ-টুকরাগুলিকে **শিলা** বলা হয়। শিলা-সংগঠন-কালে উহার অভ্যন্তরে বায়ু আটকানো থাকায় উহা বায়ুস্তরে ভাসমান থাকে এবং বৃষ্টিপাতের সময় ঐ শিলাখণ্ডগুলিও কোন কোন সময় বর্ষিত হইয়া থাকে। আমাদের দেশে সাধারণতঃ চৈত্র-বৈশাখ মাসে শিলাবৃষ্টিপাত হয়।

10·6 (a) আপেক্ষিক আর্দ্রতার প্রভাবঃ

(1) গ্রীষ্মকাল অপেক্ষা বর্ষাকালে বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা অপেক্ষাকৃত কম থাকা সত্ত্বেও আমরা বর্ষাকালে অস্বস্তিকর গুমোট বোধ করি। ইহার কারণ, বর্ষাকালে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা অধিক থাকায় দেহের ঘাম সহজে বাষ্পীভূত হওয়ার সুযোগ ঘটে না। কাজেই গুমোট বোধ হয়।

(2) দিল্লী ও পুরীর তাপমাত্রা যদি কোনদিন একও থাকে, তাহা হইলেও পুরীর আবহাওয়া অপেক্ষাকৃত অস্বস্তিকর বোধ হয়। কারণ দিল্লীর আবহাওয়া শুষ্ক, কিন্তু পুরীর আবহাওয়া আর্দ্র থাকায় ঐ স্থানে অপেক্ষাকৃত গুমোট বোধ হইবে।

একই কারণে দুইটি ঘরের তাপমাত্রা এক থাকিলেও, যে-ঘরের বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা অধিক সে-ঘর অস্বস্তিকর মনে হইবে।

(3) শীতকালে অনেকসময় ঠোঁট ফাটে এবং কাহারও কাহারও দেহের চামড়াও ফাটে। ইহার কারণ, শীতকালে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম থাকায়, অর্থাৎ বায়ু শুষ্ক থাকায়, দেহের ঘাম অত্যধিক বাষ্পীভবনে শুষ্ক হয় এবং ঠোঁটের নরম চামড়া ফাটে।

(b) আপেক্ষিক আর্দ্রতার প্রয়োজনীয়তা ঃ

(1) ভিজা কাপড় শুকাইতে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম থাকা প্রয়োজন।

(2) শীতাতপ-নিয়ন্ত্রিত ঘরে (Air-conditioned room) বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতার নিয়ন্ত্রণ প্রয়োজন। পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে, কোন ঘরের বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা 50% থাকিলে আরাম বোধ হয়। ইহার অধিক হইলে গুমোট এবং কম থাকিলে শুষ্ক বোধ হইবে। একারণে তাপনিয়ন্ত্রণের সঙ্গে সঙ্গে ঘরের বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতাও নিয়ন্ত্রিত হওয়া প্রয়োজন।

(3) বস্ত্র তৈয়ারীর কারখানা-ঘরে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম হইলে (অর্থাৎ বায়ু শুষ্ক থাকিলে), সূতা তৈয়ারী, বস্ত্রবয়ন ইত্যাদি কার্য বিঘ্নিত হয়। একারণে ঐ কারখানা-ঘরে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতার যথাযথ সংরক্ষণ প্রয়োজন।

(4) যেসমস্ত অঞ্চলে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা অধিক সেইসব অঞ্চল এড়াইয়া বিমান চালাইতে হয়। একারণে বিমান-চালকের আপেক্ষিক আর্দ্রতা সম্পর্কে জ্ঞান থাকা প্রয়োজন।

(5) আবহাওয়া-অফিসে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতার খবর রাখা প্রয়োজন। যেমন, কোন অঞ্চলে আসন্ন বৃষ্টিপাত ঐ অঞ্চলের আপেক্ষিক আর্দ্রতা হইতে নির্দেশিত হয়।

সারাংশ

ভূপৃষ্ঠের জল বাষ্পে পরিণত হইয়া বায়ুমণ্ডলকে আর্দ্র করে। বায়ুর শুষ্কতা এবং আর্দ্রতা নির্ভর করে বায়ুতে অবস্থিত জলীয় বাষ্প কি পরিমাণে সংপৃক্ত। জলীয় বাষ্পের সংপৃক্ততা কম হইলে বায়ু শুষ্ক এবং উহা অধিক হইলে বায়ু আর্দ্র বলিয়া আখ্যাত হয়।

যে তাপমাত্রায় কোনস্থানে বায়ুতে অবস্থিত জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণায় (অর্থাৎ শিশিরবিন্দুতে) পরিণত হয়, সেই তাপমাত্রাকে ঐ স্থানের **শিশিরাঙ্ক** বলা হয়।

আপেক্ষিক আর্দ্রতার বিভিন্নভাবে সংজ্ঞা দেওয়া হইয়া থাকে, কিন্তু মূলতঃ উহারা পরস্পর বিচ্ছিন্ন নহে। শতকরা হিসাবে আপেক্ষিক আর্দ্রতা,

$$R.\ H. = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে জলীয় বাষ্পের সংপৃক্ত চাপ}}{\text{বায়ুর নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}} \times 100.$$

যে যন্ত্রের সাহায্যে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা হয় তাহাকে **হাইগ্রোমিটার** বলে। **রেনো-র হাইগ্রোমিটারের** সাহায্যে শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করিয়া আপেক্ষিক আর্দ্রতা বাহির করা হয়। **শুষ্ক ও আর্দ্র কুণ্ড হাইগ্রোমিটারের** সাহায্যে সরাসরিভাবে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণীত হইয়া থাকে।

বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প বিভিন্ন অবস্থায় ঘনীভূত হইয়া শিশির, তুহিন, কুয়াশা, মেঘ, বৃষ্টি, তুষার ইত্যাদি সৃষ্টি করে। বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতার প্রভাব এবং প্রয়োজনীয়তা বিভিন্ন ক্ষেত্রে পরিলক্ষিত হয়।

প্রশ্নমালা

1. 'কোন নির্দিষ্ট স্থানে শিশিরাঙ্ক 20°C'—এই উক্তিটির অর্থ বুঝাইয়া দাও। [Dew-point at a place is 20°C. Explain this statement.]

2. 'শিশিরাঙ্ক' এবং 'আপেক্ষিক আর্দ্রতা'র সংজ্ঞা লিখ। শিশিরাঙ্ক নিরূপণের একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর এবং বুঝাইয়া দাও কি প্রকারে উহার সাহায্যে কোনস্থানের আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা সম্ভব হয়। [Define 'Dew-point' and 'Relative humidity'. Describe a method of determining Dew-point and explain how the determination of Dew-point enables you to calculate the Relative humidity of a particular place.]

3. 'রেনো-র হাইগ্রোমিটার' বর্ণনা কর এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করিতে কি প্রকারে ইহা ব্যবহার করিবে তাহা বুঝাইয়া দাও। [Describe Regnault's Hygrometer and explain how you can use it to determine Relative humidity.]

4. কোন দিনের শিশিরাঙ্ক 12°C এবং বাতাসের তাপমাত্রা 25°C দেখা গেল। 12°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ 10·4 mm. হইলে ঐ দিনের বাতাসে যে জলীয় বাষ্প বর্তমান তাহার চাপ নির্ণয় কর। [The dew-point on a day is observed to be 12°C and the temperature of the air is 25°C. The saturation pressure of aq. vapour at 12°C is 10·4 mm. Calculate the pressure of water vapour present in the air.] [*Ans.* 10·4 mm.]

5. মেঘ এবং কুয়াশা কিরূপে উৎপন্ন হয় তাহা বুঝাইয়া লিখ। কুয়াশা সাধারণতঃ দুপুরের পূর্বে অদৃশ্য হয় কেন? [Explain the formation of clouds and fogs. Why does fog generally disappear before noon ?]

6. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি ভালোভাবে বুঝাইয়া দাও—

(ক) দুইটি ঘরের প্রত্যেকটিরই তাপমাত্রা 72°F ; কিন্তু একটি ঘরের আপেক্ষিক আর্দ্রতা 75% এবং অপরটির 55%। কোন্ ঘরটি তোমার কাছে বেশী গরম বোধ হইবে এবং কেন গরম বোধ হইবে ?

(খ) বর্ষার দিনে যদিও বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা শীতকাল অপেক্ষা অধিক, তবুও শীতকালে ভিজা কাপড় বর্ষাকাল অপেক্ষা সহজেই শুকায় কেন ?

(গ) কোনও একদিন পুরী এবং দিল্লী একই রকম উত্তপ্ত হইলেও, কি কারণে পুরী বেশী অস্বস্তিকর বোধ হইবে তাহা বুঝাইয়া দাও।

(ঘ) শিশির কি প্রকারে সংগঠিত হয় এবং ভূপৃষ্ঠের অন্য বস্তুর তুলনায় কতকগুলি বস্তুর উপর শিশিরকণা বেশী জমে কেন ?

(ঙ) মেঘাচ্ছন্ন আকাশ অপেক্ষা মেঘশূন্য আকাশ শিশির-উৎপত্তির অনুকূল কেন ?

[Dacca, 1929]

(চ) একখণ্ড বরফ খোলা জায়গায় রাখিয়া দিলে উহার চারিদিকে কিরূপে পাতলা কুয়াশার সৃষ্টি হয় ?

[Explain the following—

(a) The temperature of two rooms is 72°F. The Relative humidity of one is 75% and that of the other 55%. In which of the rooms would you feel warmer and why ?

(b) Wet clothes are usually seen to dry sooner in the cold weather than in rainy season though the temperature of the latter is higher.

(c) A hot day in Puri causes greater discomfort than an equally hot day in Delhi. Why ?

(d) How is dew formed and why it is more copious on some substances than on others ?

(e) Cloudless nights are better for the formation of dews than cloudy ones. Why ?

(f) When a lump of ice is exposed to the atmosphere, a mist forms around it. Why ?]

একাদশ পরিচ্ছেদ

তাপ-সঞ্চালন

(Transmission of heat)

11·1. তাপ তিনরকম ভাবে সঞ্চালিত হইতে দেখা যায়ঃ যথা—(1) **পরিবহণ** (Conduction), (2) **পরিচলন** (Convection) এবং (3) **বিকিরণ** (Radiation)।

(1) তাপ-পরিবহণ—তাপ-পরিবহণ কঠিন বস্তুর মাধ্যমে সংঘটিত হয়। এই প্রক্রিয়ায় তাপ-সঞ্চালনকালে বস্তুর উষ্ণতর স্থান হইতে উহার শীতলতর স্থানে তাপ পরিবাহিত হয় এবং বস্তুর কণাগুলি স্থানচ্যুত না হইয়া পর পর উত্তপ্ত হইতে থাকে।

যেসমস্ত পদার্থের মাধ্যমে তাপ সহজে পরিবাহিত হইতে পারে, তাহাদিগকে **তাপ-সুপরিবাহী** (Good conductor of heat) বলা হয়। ধাতব পদার্থ তাপ-সুপরিবাহী। ধাতব পদার্থের মধ্যে রূপা, তামা ইত্যাদি বিশেষভাবে তাপ-সুপরিবাহী।

কাচ, কাঠ, বেত, পশম, পাখীর পালক ইত্যাদির মধ্য দিয়া তাপ সহজে পরিবাহিত হয় না। উহাদিগকে তাপ-কুপরিবাহী (Bad conductor of heat) বলা হয়।

(2) তাপ-পরিচলন—তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের মাধ্যমে তাপ-পরিচলন সংঘটিত হয়। কোন বস্তুতে এই প্রক্রিয়ায় তাপ-সঞ্চালনকালে বস্তুর কণাগুলি সরাসরি তাপ-প্রযুক্ত স্থানের সংস্পর্শে আসিয়া উত্তপ্ত হয় এবং শেষপর্যন্ত সমগ্র বস্তুটি উত্তপ্ত হইয়া থাকে।

কোন পাত্রে জল রাখিয়া ঐ পাত্রে তাপ প্রয়োগ করিলে পাত্রস্থ জল পরিচলন-পদ্ধতিতে উত্তপ্ত হয়। গ্রীষ্মকালে ঘরের বায়ু পরিচলন-পদ্ধতিতে উত্তপ্ত হইয়া থাকে।

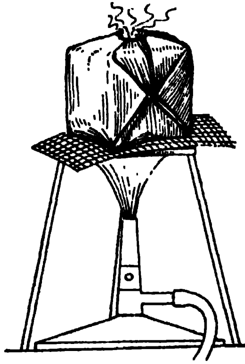
(3) তাপ-বিকিরণ—যখন তাপের উৎস (Source of heat) হইতে তাপ সঞ্চালিত হইয়া কোন বস্তুতে সরাসরি আসিয়া পৌছায় এবং উহাকে উত্তপ্ত করে, কিন্তু উৎস ও বস্তুর অন্তর্বর্তী স্থান উত্তপ্ত হয় না, তখন এই সঞ্চালন-পদ্ধতিকে তাপ-বিকিরণ বলা হইয়া থাকে। বিকিরণ-পদ্ধতিতে তাপ সঞ্চালিত হইবার সময় কোন বস্তু-মাধ্যমের আবশ্যক হয় না।

সূর্যের তাপে যে পৃথিবীর পৃষ্ঠ উত্তপ্ত হয়, ইহা তাপ-বিকিরণের একটি প্রকৃষ্ট দৃষ্টান্ত। এক্ষেত্রে সূর্য এবং পৃথিবীর অন্তর্বর্তী স্থান প্রায় শূন্য (পৃথিবীপৃষ্ঠের বায়ু-আবরণ ব্যতীত)। সূর্যের বিকীর্ণ তাপ শূন্যপথে বায়ুমণ্ডল ভেদ করিয়া পৃথিবীপৃষ্ঠে

আসিয়া পৌঁছায় কিন্তু বায়ুমণ্ডল উত্তপ্ত হয় না। একারণে যদিও পৃথিবীর সন্নিহিত বায়ু তাপ-পরিচলনে উত্তপ্ত থাকে কিন্তু উর্ধ্বস্তরের বায়ুর শীতলতা অত্যধিক বৃদ্ধি পায়।

11·2. তাপ-পরিবহণের কয়েকটি পরীক্ষা:

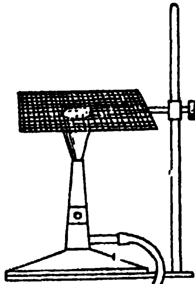
(ক) **আগুন-খোঁচা লৌহদণ্ডের উত্তপ্ততা**—একটি লম্বা আগুন-খোঁচা লৌহ-দণ্ডের একপ্রান্ত জ্বলন্ত চুল্লীর মধ্যে প্রবেশ করাইয়া অপরপ্রান্ত হাতের মুঠির মধ্যে রাখ। কিছুক্ষণ পরে ঐ মুঠিবদ্ধ প্রান্ত এরূপ উত্তপ্ত হইবে যে, দণ্ডটি ধরিয়া রাখা চলে না। এক্ষেত্রে চুল্লীর তাপ দণ্ডটির মধ্য দিয়া পরিবাহিত হইয়া মুঠিবদ্ধ প্রান্তকে উত্তপ্ত করে। এই পরিবহণ-প্রক্রিয়ায় দণ্ডটির বস্তুকণাগুলি স্থানচ্যুত না হইয়া পর পর উত্তপ্ত হইয়া থাকে।



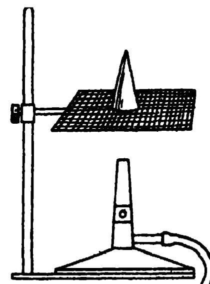
চিত্র 11A

(খ) **কাগজের দোয়াতে জল ফুটানো**—একটি পাতলা কাগজের তৈয়ারী দোয়াত জলপূর্ণ করিয়া 11A চিত্র অনুযায়ী উত্তপ্ত কর। কিছুক্ষণ পরে দেখিতে পাইবে, কাগজ দাহ্য পদার্থ হইলেও উহা পুড়িয়া যায় না এবং দোয়াতের জল ফুটিতে থাকে। কাগজ তাপ-কুপরিবাহী হইলেও পাতলা কাগজের মধ্য দিয়া তাপ-পরিবহণ সুগম হওয়ায় গ্যাস-প্রজ্বালকের (Gas-burner) তাপ দোয়াতের জল উত্তপ্ত করিতে থাকে এবং শেষপর্যন্ত ঐ জল ফুটিতে আরম্ভ করে।

(গ) **তারজালি (Wire-gauze) এবং দীপশিখার পরীক্ষা**—একটি রেটর্ট-স্ট্যাণ্ডের (Retort stand) হাতলের উপর একখণ্ড তারজালি বসাও। অতঃপর



চিত্র 11B(i)



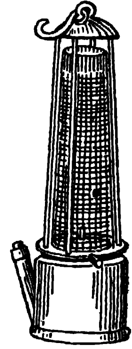
চিত্র 11B(ii)

11B(i) চিত্র অনুযায়ী বার্নার বসাইয়া জালির নীচে জ্বলন্ত দিয়াশলাইকাঠি ধর। দেখিতে পাইবে ঐ বার্নারের নীচের অংশ জ্বলিতেছে। কিন্তু বার্নারের গ্যাস তারজালির মধ্য দিয়া উপরে চলিয়া আসিলেও উপরের অংশ জ্বলে না।

এখন গ্যাস বন্ধ করিয়া দাও এবং জালির উপরে জলন্ত কাঠি ধরিয়া গ্যাস খুলিয়া দাও। দেখিবে 11B(ii) চিত্র-অনুরূপ বার্নারের উপরের অংশ জ্বলিতেছে কিন্তু নীচের অংশ জ্বলে না।

গ্যাস জ্বলিতে হইলে উহা দাহ্য তাপমাত্রায় উত্তপ্ত হওয়া প্রয়োজন। প্রথম ক্ষেত্রে বার্নারের নীচের অংশ জ্বলায় যে তাপ উৎপন্ন হয় উহা সুপরিবাহী তারজালিতে ছড়াইয়া পড়ে এবং বার্নারের উপরের অংশের গ্যাস দাহ্য তাপমাত্রায় তখন-তখনই আসিয়া পৌঁছাইতে পারে না। অনুরূপ কারণে দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বার্নারের নীচের অংশের গ্যাস জ্বলে না। আংশিক প্রজ্বলিত বার্নারটি কিছু অধিক সময় জ্বলিতে থাকিলে তারজালি উত্তপ্ত হইয়া গ্যাসের দাহ্য তাপমাত্রায় আসে এবং বার্নারটি তখন পুরাপুরি জ্বলিয়া থাকে।

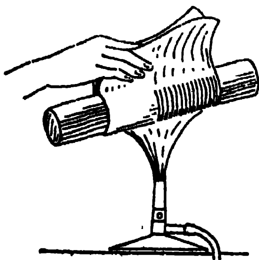
প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য, **ডেভির নিরাপত্তা বাতি** (Davy's Safety Lamp) বর্ণিত পরীক্ষার ব্যবহারিক প্রয়োগ। এই বাতিতে কাচের চিম্‌নির পরিবর্তে তারজালির আবরণ থাকে (11C চিত্র)। পূর্বে কয়লার খনিতে এই বাতির ব্যবহার অপরিহার্য বলিয়া বিবেচিত হইত।



চিত্র 11C

খনির মধ্যে বাতিটি জ্বলিতে থাকিলে বাহিরের দাহ্য গ্যাস জালির মধ্য দিয়া কিছু কিছু প্রবেশ করিয়া জ্বলিতে থাকে। ইহার ফলে যে তাপের উৎপত্তি হয় ইহা তাপ-সুপরিবাহী তারজালিতে ছড়াইয়া পড়ে এবং বাহিরের দাহ্য গ্যাস জ্বলিয়া বিস্ফোরিত হয় না। বাতিটি জ্বলিতে থাকায় যখন তারজালির আবরণ দাহ্য তাপমাত্রার কাছাকাছি পৌঁছায় তখন বাতির তেল ফুরাইয়া উহা নিভিয়া যায়।

(ঘ) **সংযুক্ত ধাতব ও কাঠের চোঙের পরীক্ষা**—11D চিত্রে সংযুক্ত চোঙটি দেখানো হইয়াছে। ইহার সাহায্যে তাপ-সুপরিবাহিতা এবং কুপরিবাহিতা উভয় ব্যাপারই দেখানো হইয়া থাকে। এই চোঙটিতে আংশিক তামা এবং আংশিক কাঠ থাকে। ইহার তামার ও কাঠের অংশ পৃথক পৃথক ভাবে কাগজে জড়াইয়া একটি জ্বলন্ত বার্নারের শিখার উপর ধর। তামার অংশে জড়ানো কাগজ সহসা দগ্ধ হইবে না, কিন্তু কাঠের অংশের কাগজ তখন-তখনই দগ্ধ হয়।

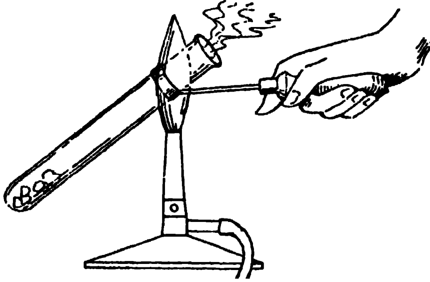


চিত্র 11D

তামা তাপ-সুপরিবাহী হওয়ায় উহাতে জড়ানো কাগজে প্রদত্ত তাপ ধাতব অংশে

ছড়াইয়া পড়ায় উহা দগ্ধ হয় না। কাঠ তাপ-কুপরিবাহী হওয়ায় উহাতে জড়ানো কাগজের তাপ ছড়াইয়া পড়িতে পারে না, ফলে কাগজ দগ্ধ হয়।

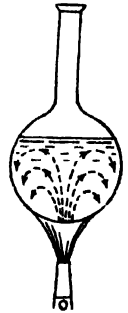
(ঙ) **জলের তাপ-কুপরিবাহিতার পরীক্ষা**—একখণ্ড বরফ লোহার টুকরায় বাঁধিয়া একটি পরীক্ষা-নলের তলায় রাখ। এখন জলপূর্ণ নলটি কাতভাবে বার্নারের উপর ধর (11E চিত্র)। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, নলটির উপরের অংশের জল উত্তপ্ত হয়। শেষপর্যন্ত ঐ স্থানের জল ফুটিতে আরম্ভ করে। কিন্তু জল তাপ-কুপরিবাহী হওয়ায় নলের তলায় রক্ষিত বরফ তখন পর্যন্ত পুরাপুরি গলিয়া যায় না।



চিত্র 11E

11·3. তরলে তাপ-পরিচলনের পরীক্ষা :

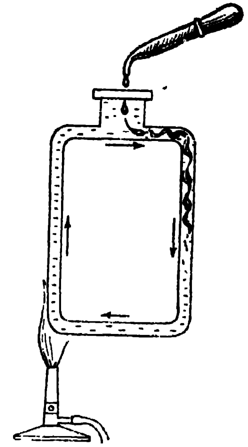
(ক) **রঙীন জলের ফোয়ারা**—একটি কাচের ফ্লাস্কের তলায় কয়েকটি ম্যাজেণ্টা (magenta)-দানা রাখিয়া ফ্লাস্কটি আংশিক জলপূর্ণ কর। দানাগুলি জলে গুলিয়া যাইয়া ফ্লাস্কের তলায় আশেপাশের জল গাঢ় লাল হয়। এখন ফ্লাস্কটির তলায় বার্নার জ্বালাইয়া দেও (11F চিত্র)। ফ্লাস্কের তলায় রঙীন জলকণাগুলি উত্তপ্ত স্থানের সংস্পর্শে আসিয়া উত্তপ্ত হয় এবং উহাদের ঘনত্ব কমিয়া যাইয়া উপরের দিকে উঠিতে থাকে। ঐ জলকণাগুলির পরিত্যক্ত স্থান পূর্ণ করিবার জন্য শীতলতর জলকণাগুলি দুই পাশ দিয়া নীচে নামিয়া আসে এবং উহারাও উত্তপ্ত হইয়া উপরের দিকে উঠে। এই প্রক্রিয়া চলিতে থাকে এবং শেষপর্যন্ত ফ্লাস্কের অভ্যন্তরে রঙীন জলের ফোয়ারার সৃষ্টি হয়। জলে তাপ-পরিচলনের ফলেই এই ফোয়ারা-সংগঠন সম্ভব হইয়াছে। (চিত্রে দ্রষ্টব্য)।



চিত্র 11F

(খ) **আয়তাকার বাঁকানো নলে জলপ্রবাহ**—11G চিত্র (পরপৃষ্ঠায়) অনুযায়ী জলপূর্ণ বাঁকানো নলটি খাড়াভাবে স্থাপন করিয়া উহার বাম বাহুর নীচের দিকে (মনে কর) তাপ প্রদান করিতে থাক এবং সঙ্গে সঙ্গে উপরের খোলা মুখে ফোঁটা ফোঁটা রঙীন তরল ফেলিতে থাক। বাম বাহুর নীচের দিকের জলকণাগুলি উত্তপ্ত হইয়া উপরদিকে উঠিতে থাকে এবং ডান বাহুর শীতল জলকণাগুলি ঐ স্থান পূর্ণ করিবার জন্য নীচের দিকে নামিয়া আসে। ফলে নলের মধ্যে জলের প্রবাহের সৃষ্টি

হয়। রঙীন তরল ফোঁটাগুলির গতির সাহায্যে জলের এই প্রবাহ বাহির হইতে পরিলক্ষিত হইয়া থাকে। এক্ষেত্রে নলের জলে তাপ-সঞ্চালন পরিচলন-পদ্ধতিতে সংঘটিত হয়।

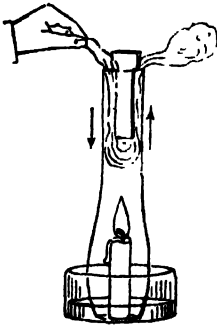


চিত্র 11G

11·4. গ্যাসে তাপ-পরিচলনের পরীক্ষাঃ

(1) জলন্ত মোমবাতি ও চিম্‌নির সাহায্যে পরীক্ষা—11H(i) চিত্র অনুযায়ী একটি কাচের পাত্রে কিছু পরিমাণ জল লইয়া উহার মধ্যে চিম্‌নিসহ একটি জলন্ত মোমবাতি বসাও। কিছুক্ষণ পরে দেখিতে পাইবে দীপশিখাটি ক্রমশঃ ক্ষীণ হইতেছে। এমতাবস্থায় চিম্‌নির খোলা মুখে 'T' আকৃতির একটুকরা কার্ডবোর্ড বসাও। দেখিবে বাতিটি পূর্বের ন্যায় প্রজ্বলিত হইতেছে।

চিম্‌নির মুখে 'T' বোর্ডখানি বসাইবার পূর্বে উহার অভ্যন্তরের বায়ুকণাগুলি পর পর দীপশিখার সংস্পর্শে আসিয়া উত্তপ্ত হয় ও উপরের দিকে উঠিতে থাকে এবং উপরিভাগের বায়ুকণাগুলি ঐ পরিত্যক্ত স্থানে চলিয়া আসে। এই প্রক্রিয়ায় চিম্‌নির বায়ুর অক্সিজেন বাতির দহনকার্যে ব্যয়িত হইয়া ক্রমশঃ নিঃশেষিত হইয়া যায়। চিম্‌নির নীচের অংশ জলে ডুবানো থাকায় বাহিরের শীতলতর বায়ু চিম্‌নির মধ্যে প্রবেশ করিবার সুযোগ পায় না। ফলে চিম্‌নির অভ্যন্তরে অক্সিজেন-সরবরাহ একরূপ বন্ধ হইয়া যায় এবং দীপশিখা ক্রমশঃ ক্ষীণ হইতে থাকে; শেষ-পর্যন্ত উহা নিভিয়া যাইতেও পারে।

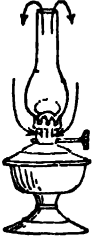


চিত্র 11H (i)

'T' বোর্ডখানি চিত্রানুযায়ী বসাইলে চিম্‌নির উপরিভাগে দুইটি প্রকোষ্ঠের সৃষ্টি হয়। উহাদের একটির মধ্য দিয়া উত্তপ্ত বায়ু বাহিরে চলিয়া আসে এবং অপরটির মধ্য দিয়া বাহিরের বায়ু প্রবেশ করিয়া দীপশিখাটি প্রজ্বলিত রাখে। একখণ্ড ধূমায়িত ব্লটিং কাগজ চিম্‌নির উপরে রাখিয়া বায়ুর এই প্রবাহ দেখানো হয়। এক্ষেত্রে, ব্লটিং কাগজের ধোঁয়া বাহিরের বায়ুর সঙ্গে এক প্রকোষ্ঠ দিয়া চিম্‌নিতে প্রবেশ করে এবং উহা অপর প্রকোষ্ঠ দিয়া উত্তপ্ত বায়ুর সহিত বাহির হইয়া আসে।

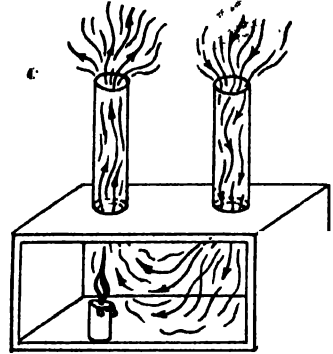
বর্ণিত পরীক্ষাদৃষ্টে বুঝা যায়, যে-কোন প্রকারের চিম্‌নির বাতিতেই দীপশিখা

প্রজ্বলিত রাখিতে চিম্‌নির অভ্যন্তরে বায়ুপ্রবাহের ব্যবস্থা রাখা প্রয়োজন। 11H(ii) চিত্রে একটি টেবিল-বাতি দেখানো হইল। উহার চিম্‌নি-হোল্ডারের নীচে ছোট ছিদ্র আছে। বাতি জ্বলিতে থাকিলে বাহিরের বায়ু ঐ ছিদ্রপথে চিম্‌নির ভিতরে প্রবেশ করে এবং উত্তপ্ত বায়ু উপরের খোলা মুখ দিয়া বাহিরে চলিয়া আসে। (বায়ুর প্রবাহ তীর-চিহ্নিত রেখা দ্বারা দেখানো হইয়াছে।)



চিত্র 11H (ii)

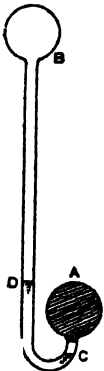
(2) চোঙ-বসানো বাক্সের সাহায্যে পরীক্ষা— একটি চৌকা বাক্সের সামনের দিকে কাচ লাগানো থাকে এবং উহার ঢাকনার উপর দুইমুখ-খোলা দুইটি চোঙ পাশাপাশি বসানো আছে (11 I চিত্র)। এখন বাক্সের অভ্যন্তরে বাম চোঙের নীচের মুখের কাছে একটি মোমবাতি জ্বালাইয়া ডান চোঙের উপরের খোলা মুখে একখণ্ড ধূমায়িত ব্লটিং কাগজ ধর। দেখিতে পাইবে ব্লটিং কাগজের ধোঁয়া ডান চোঙ দিয়া বাক্সে প্রবেশ করে এবং ঐ ধোঁয়া পুনরায় বাম চোঙ দিয়া বাহির হইয়া আসে। পূর্বের পরীক্ষার ন্যায় এক্ষেত্রেও বায়ুতে তাপ-পরিচলন ধোঁয়ার এই প্রবাহের সাহায্যে নির্দেশিত হইয়া থাকে।



চিত্র 11 I

11·5. তাপ-বিকিরণের পরীক্ষা :

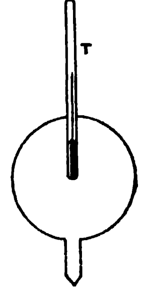
(1) ইথার-থার্মোস্কোপের সাহায্যে (Ether-Thermoscope)—এই যন্ত্রটি 11 J(i) চিত্রে দেখানো হইয়াছে। ইহার *A* এবং *B* ফাঁপা কুণ্ড দুইটি, অসম বাহুর 'U' আকৃতির নল দ্বারা সংযুক্ত এবং *A* কুণ্ডটি ভুসা-কালি (lamp-black) মাখানো থাকে। সংযোজক নলের বাঁকা অংশ ইথার-পূর্ণ এবং উহার অবশিষ্টাংশ ও কুণ্ড দুইটি সংপৃক্ত ইথার-বাষ্পপূর্ণ থাকে। যন্ত্রটি কোন বিকীর্ণ রশ্মির (যেমন সূর্যরশ্মি) সংস্পর্শে আনিলে দেখা যায় ইথার-তম্ভের *C* শীর্ষ নীচে নামিয়া আসে এবং *D* শীর্ষ উপরে উঠিয়া যায়। এক্ষেত্রে ভুসা-কালি-মাখানো *A* কুণ্ডটি অপেক্ষাকৃত অধিক তাপ শোষণ করায় উহার অভ্যন্তরের ইথার-বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি পায় এবং ইথার-তম্ভের *C* শীর্ষ নীচে নামিয়া আসে। সুতরাং



চিত্র 11J (i)

এই শীর্ষদ্বয়ের অবস্থানের পার্থক্য হইতে বিকীর্ণ তাপের পরিমাণের মোটামুটি ধারণা করা হয়।

(2) কাচের বর্তুল ও থার্মোমিটারের সাহায্যে—11 J(ii) চিত্র অনুযায়ী একটি কাচের ফাঁপা বর্তুল ও উহার কেন্দ্রে একটি থার্মোমিটারের কুণ্ড বসানো থাকে। বর্তুলটির অভ্যন্তর বায়ুশূন্য করা হয়। গরম জলের পাত্রে বর্তুলটি নিমজ্জিত করিলে দেখিতে পাইবে, থার্মোমিটারের পাঠ বৃদ্ধি পাইতেছে। এই পাঠবৃদ্ধি নির্দেশ করে বর্তুলের অভ্যন্তর বাহিরের গরম জলের তাপে উত্তপ্ত হয়। গ্লাস তাপ-কুপরিবাহী হওয়ায় এবং বর্তুলের অভ্যন্তর বায়ুশূন্য থাকায়, পরিবহণ কিম্বা পরিচলন পদ্ধতিতে বর্তুলের অভ্যন্তর উত্তপ্ত হইয়া থার্মোমিটারের পাঠ বৃদ্ধি করাইতে পারে না। সুতরাং বিকিরণ-পদ্ধতিতে বর্তুলের অভ্যন্তর উত্তপ্ত হয় এবং থার্মোমিটারের পাঠ বৃদ্ধি পায়।



চিত্র 11 J (ii)

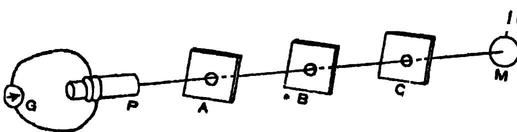
11·6. বিকীর্ণ তাপ ও আলোকের মধ্যে সাদৃশ্য (Similarity between Radiant Heat and Light) ঃ

(1) আলোকের ন্যায় কোন তাপের উৎস হইতে বিকীর্ণ তাপ সমভাবে সর্বদিকে ছড়াইয়া পরে। একটি তাপের উৎস হইতে সমান দূরত্বে যে-কোন্ দিকে একটি ইথার-থার্মোস্কোপ স্থাপন করিলে দেখিতে পাইবে উহার পাঠের পরিবর্তন হয় না।

(2) আলোকের ন্যায় বিকীর্ণ তাপও শূন্যস্থান দিয়া সঞ্চালিত হইতে পারে। পূর্ব অনুচ্ছেদের বর্তুল ও থার্মোমিটারের পরীক্ষা দ্বারা এই উক্তি সমর্থিত হয়।

(3) আলোকের ন্যায় বিকীর্ণ তাপও সরলরেখায় চলাচল করে।

পরীক্ষা ঃ 11K(i) চিত্রানুযায়ী *A*, *B* এবং *C* তিনখানা উজ্জ্বল পালিশ-করা টিনপ্লেট খাড়াভাবে স্থাপন কর। এই প্লেট তিনটির কেন্দ্রে সম-উচ্চতায় একটি করিয়া ছিদ্র আছে। এখন *C* প্লেটের সম্মুখে একটি শ্বেত-তপ্ত উৎস *M* এবং *A* প্লেটের পিছনে একটি থার্মপাইল (Thermopile) যন্ত্র স্থাপন কর। ছিদ্র তিনটি সমসূত্রে থাকিলে থার্মপাইল-সংলগ্ন গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ পরিলক্ষিত হয়। যখন ছিদ্র তিনটি সমসূত্রে রাখা হয় না, তখন থার্মপাইল কোনরূপ সাড়া দেয় না। ইহা হইতে বুঝা যায় বিকীর্ণ তাপ সরলরেখায় চলে।

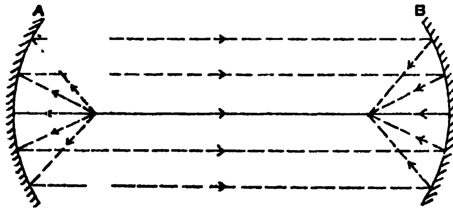


চিত্র 11K (i)

বিকীর্ণ তাপ সরলরেখায় চলার ফলে গ্রীষ্মের দিনের দুপুরবেলায় গাছের তলা এবং ছাতি-ব্যবহার অনেকটা আরামপ্রদ বিবেচিত হয়।

(4) আলোকের ন্যায় বিকীর্ণ তাপেরও প্রতিফলন হয়।

পরীক্ষা: 11K(ii) চিত্র অনুযায়ী A এবং B দুইটি অবতল দর্পণ মুখামুখি বসাইয়া A দর্পণের ফোকস-বিন্দুতে একটি শ্বেততপ্ত ধাতব বল স্থাপন কর এবং অপর দর্পণটির ফোকস-বিন্দুতে একটি দিয়াশলাইকাঠি সুবিধামত ভাবে রাখিয়া দাও। কিছুক্ষণ পরে দেখিবে দিয়াশলাইকাঠি প্রজ্বলিত হয়। এক্ষেত্রে শ্বেততপ্ত উৎস হইতে আগত বিকীর্ণ রশ্মিগুচ্ছ A দর্পণ-তলে প্রতিফলিত হইয়া সমান্তরাল রেখায় B দর্পণের দিকে পরিচালিত হয়। পরিশেষে এই সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ B দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া উহা ঐ দর্পণের ফোকস-বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয় এবং দিয়াশলাইকাঠিটি জ্বালাইয়া দেয়। চিত্রের রেখাগুলির সাহায্যে বিকীর্ণ রশ্মির প্রতিফলন বুঝানো হইয়াছে।



চিত্র 11K (ii)

(5) আলোকের ন্যায় বিকীর্ণ তাপেরও প্রতিসরণ হয়। একখানা উত্তল লেন্স সূর্যরশ্মি-চলনপথে স্থাপন করিয়া উহার ফোকসে একটুকরা কাগজ রাখ। কিছুক্ষণ পরে কাগজ-টুকরা জলিয়া উঠিবে। ইহা নির্দেশ করে বিকীর্ণ তাপের প্রতিসরণ।

(6) আলোকের ন্যায় বিকীর্ণ তাপ-সঞ্চালনে ইথার-তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। তুলনায় তাপ-তরঙ্গ আলোক-তরঙ্গ অপেক্ষা দৈর্ঘ্যে বড়।

11·7. তাপ-সঞ্চালনের তিনটি পদ্ধতির তুলনামূলক আলোচনা:

(1) তাপ-পরিবহণ এবং তাপ-পরিচলন কোন বস্তুর মাধ্যমে সংঘটিত হয়। কিন্তু তাপ-বিকিরণে বস্তু-মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না।

(2) তাপ-পরিবহণ এবং পরিচলনকালে বস্তুর মাধ্যম উত্তপ্ত হয়, কিন্তু তাপ-বিকিরণকালে বস্তুর মাধ্যম উত্তপ্ত হয় না।

(3) তাপ-পরিবহণ এবং তাপ-পরিচলন অপেক্ষাকৃত মন্থর। কিন্তু তাপ-বিকিরণ অত্যধিক দ্রুত। সূর্য কোটি কোটি মাইল দূরে থাকা সত্ত্বেও সূর্য উঠিবার প্রায় সঙ্গে সঙ্গে আমরা উত্তপ্ততা বোধ করি।

(4) তাপ-বিকিরণকালে তাপরশ্মিগুলি সরলরেখায় চলে। কিন্তু তাপ-পরিবহণ এবং পরিচালনকালে অনেকসময় অনুরূপ সরল গতিতে তাপ সঞ্চালিত হয় না।

(5) তাপ-পরিবহণ এবং বিকিরণকালে বস্তুকণাগুলির স্থানচ্যুতি ঘটে না। কিন্তু তাপ-পরিচলনকালে বস্তুকণাগুলির বিচ্যুতি ঘটে।

11·8. তাপ-পরিবাহিতা এবং তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক :

তাপ-পরিবাহিতা (Thermal conductivity)—তাপ-পরিবাহিতা বস্তুর এমন একটি ধর্ম যাহা নির্দেশ করে কোন বস্তুর মধ্য দিয়া কত সহজতরভাবে বস্তুকণাগুলিকে পর পর উত্তপ্ত করিয়া তাপ পরিবাহিত হইতে পারে। সকল বস্তুর এই তাপ-পরিবহণ-ক্ষমতা এক নহে। সুতরাং তুলনামূলকভাবে এই পরিবহণ নির্দেশ করিবার জন্য আমরা বস্তুগুলির তাপ-পরিবহণ-অঙ্ক পৃথক পৃথক ভাবে নির্দেশ করিয়া থাকি।

তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক বা তাপ-পরিবহণ-অঙ্ক (Co-efficient of Thermal conductivity)—কোন্ বস্তু কি পরিমাণ তাপ-পরিবাহী তাহা সুনির্দিষ্টভাবে বুঝাইবার জন্য তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক কথাটি ব্যবহার করা হয়। যে বস্তু যত তাপ-সুপরিবাহী তাহার তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক তত বেশী।

তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক সাধারণতঃ C.G.S. পদ্ধতিতে নির্দেশিত হইয়া থাকে। এ-হিসাবে নিম্নলিখিতভাবে তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক লিখা হয়।

সংজ্ঞা—কোন বস্তুর এক সেন্টিমিটার বেধের একটি আয়তাকার প্লেট কল্পনা কর। এই প্লেটের সমান্তরাল দুই পৃষ্ঠের উষ্ণতা-পার্থক্য যখন এক ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড তখন প্রতি সেকেণ্ডে উষ্ণতর পৃষ্ঠের এক বর্গ সেন্টিমিটার ক্ষেত্রফল হইতে যত ক্যালরি তাপ অভিলম্ব-ভাবে অপরপৃষ্ঠে পরিবাহিত হয়, সংখ্যায় ঐ তাপের পরিমাণ নির্দেশ করে উল্লিখিত বস্তুর **তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক।**

ফরমুলায় তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক নির্দেশ—মনে কর, একটি আয়তাকার প্লেটের সমান্তরাল পৃষ্ঠ দুইটির প্রত্যেকটির ক্ষেত্রফল A, প্লেটের বেধ d, উহার বাম পৃষ্ঠের তাপ-মাত্রা θ_1 এবং ডান পৃষ্ঠের তাপমাত্রা θ_2 $(\theta_1 > \theta_2)$। এমতাবস্থায় যদি t সময়ে Q পরিমাণ তাপ θ_1 পৃষ্ঠ হইতে θ_2 পৃষ্ঠে অভিলম্বভাবে পরিবাহিত হয়, তাহা হইলে পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণিত হইয়াছে—

পৃথক পৃথক ভাবে Q : (i) ক্ষেত্রফলের সমানুপাতিক অর্থাৎ $Q \propto A$,

(ii) তাপমাত্রা-পার্থক্যের সমানুপাতিক অর্থাৎ $Q \propto (\theta_1 - \theta_2)$,

(iii) সময়ের সমানুপাতিক অর্থাৎ $Q \propto t$,

(iv) বেধের ব্যস্তানুপাতিক অর্থাৎ $Q \propto \frac{1}{d}$.

সুতরাং, যুক্তভাবে, $Q \propto \frac{A \times (\theta_1 - \theta_2) \times t}{d}$

অথবা, $Q = \frac{K.A(\theta_1 - \theta_2)t}{d}$.

এক্ষেত্রে 'K' ধ্রুবকটি নির্দেশ করে বস্তুর তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক।

উপরের সমীকরণ অনুযায়ী, $K = \frac{Q \times d}{A(\theta_1 - \theta_2)t}$.

যখন, $d = 1$ cm., $A = 1$ sq. cm., $(\theta_1 - \theta_2) = 1°C$ এবং $t = 1$ sec., তখন $K = Q$ অর্থাৎ C.G.S. পদ্ধতিতে তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক সংখ্যায় Q ক্যালরি তাপের সমান। উদাহরণ হিসাবে, যদি বলা হয় লোহার তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক ·15, তাহা হইলে বুঝা যাইবে, এক সেন্টিমিটার বেধের একখণ্ড আয়তক্ষেত্রিক প্লেটের এক পৃষ্ঠের এক বর্গ সেন্টিমিটার হইতে অপরপৃষ্ঠে প্রতি সেকেণ্ডে ·15 ক্যালরি তাপ অভিলম্ব ভাবে পরিবাহিত হয়, যখন পৃষ্ঠ দুইটির তাপমাত্রা-পার্থক্য 1°C থাকে।

C. G. S. পদ্ধতিতে কয়েকটি পদার্থের তাপ-পরিবাহিতাঙ্কের তালিকা

রূপা (Silver)	·97	দস্তা (Zinc)	·26
সোনা (Gold)	·70	সীসা (Lead)	·08
তামা (Copper)	·92	লোহা (Iron)	·15
অ্যালুমিনিয়ম (Aluminium)	·50	কাচ (Glass)	·002

উদাহরণ। (1) একটি তামার পাতের বেধ 4·5 mm. এবং উহার পৃষ্ঠ দুইটির প্রত্যেকটির ক্ষেত্রফল 1 metre sq.। ইহার এক পৃষ্ঠের তাপমাত্রা 100°C এবং অপর পৃষ্ঠের তাপমাত্রা 110°C হইলে, প্রতি মিনিটে কি পরিমাণ তাপ এক পৃষ্ঠ হইতে অপর পৃষ্ঠে পরিবাহিত হইবে তাহা নির্ণয় কর। (সি.জি.এস্. পদ্ধতিতে তামার তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক = ·92) [Calculate the amount of heat which would be conducted per minute through a sheet of copper of face area 1 metre sq. each and thickness 4·5 mm., if one face is at 100°C and the other at 110°C. (The co-efficient of thermal conductivity of copper = ·92)]

এক্ষেত্রে, $A = 1$ metre × 1 metre = 100 cm. × 100 cm. = 10^4 sq. cm. ;
$t = 1$ min. = 60 seconds ; $d = 4·5$ mm. = ·45 cm. ;
$\theta_1 = 110°C$ এবং $\theta_2 = 100°C$; $K = ·92$.

আমরা জানি, $Q=\frac{K.A(\theta_1-\theta_2)\times t}{d}$

$$=\frac{\cdot92\times10^4\times(110-100)\times60}{\cdot45}\text{ calories}$$

$$=\frac{\cdot92\times10^4\times10\times60}{\cdot45}\text{ calories}$$

$=1\cdot23\times10^7$ calories (আনুমানিক) ।

(2) কোন ঘরের একটি জানালার ক্ষেত্রফল 1 sq. metre এবং উহার বেধ ·5 cm. । যদি ঐ ঘরটির বাহিরের এবং ভিতরের তাপমাত্রা যথাক্রমে $-5°C$ এবং 18°C হয়, তাহা হইলে ঐ জানালা দিয়া কি হারে ঘরে তাপ কমিয়া যাইবে তাহা নির্ণয় কর। (কাচের তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক = ·002) [The temperature outside a room is $-5°C$ and that inside is 18°C. Calculate the rate of loss of heat through a window of area 1 sq. metre and thickness ·5 cm. (Co-efficient of thermal conductivity of glass = ·002)]

এক্ষেত্রে, A = এক বর্গমিটার = 100 cm. × 100 cm. = 10^4 sq. cm. ;

$d=\cdot5$ cm. ;

$\theta_1=18°C$; $\theta_2=-5°C$;

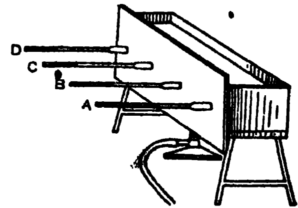
$t=1$ sec. ;

$K=\cdot002$.

আমরা জানি, $Q=\frac{K.A(\theta_1-\theta_2)\times t}{d}=\frac{\cdot002\times10^4\,[18-(-5)]\times1}{\cdot5}$

$$=\frac{2\times10^{-3}\times10^4\times23}{\cdot5}=92\times10=920\text{ cal./sec.}$$

11·9. ইন্‌জেন্‌হাউজ-এর পরীক্ষা (Ingenhausz experiment) : এই পরীক্ষার সাহায্যে বিভিন্ন পদার্থের তাপ-পরিবাহিতাঙ্কের তুলনা করা হয়। 11L চিত্রে ইন্‌জেন্‌হাউজের যন্ত্র দেখানো হইল। চিত্রে A, B, C এবং D কয়েকটি বিভিন্ন পদার্থের ধাতব দণ্ড। উহাদের দৈর্ঘ্য এবং প্রস্থচ্ছেদ সমান এবং প্রত্যেকটির গাত্রের উপর একই ভাবে মোমের প্রলেপ দেওয়া হয়। এই দণ্ডগুলির একপ্রান্তের কিছুটা অংশ জল অথবা তেল-ভর্তি একটি লম্বা চৌকাকৃতি বাক্সের মধ্যে ঢুকানো থাকে এবং পাত্রের মধ্যে ঢুকানো অংশগুলির দৈর্ঘ্য সমান। বাক্সের অভ্যন্তরস্থ তরল কোন নির্দিষ্ট



চিত্র 11L

তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করিলে দণ্ডের প্রান্তগুলি একই তাপমাত্রায় উত্তপ্ত হইবে এবং দেখিতে পাইবে যে, ঐ দণ্ডগুলির মধ্য দিয়া তাপ বাহিরের শীতলতর প্রান্তের দিকে পরিবাহিত হইয়া দণ্ডগুলিকে উত্তপ্ত করে। ফলে উহাদের গায়ের মোমের প্রলেপ গলিতে থাকে। যখন এই তাপ-পরিবহণ স্থির অবস্থায় আসে তখন দেখা যায় যে, বিভিন্ন দণ্ডের বিভিন্ন দৈর্ঘ্য পর্যন্ত মোম গলিয়া গিয়াছে।

এই পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, বিভিন্ন পদার্থের তাপ-পরিবাহিতা বিভিন্ন। গাণিতিক আলোচনার দ্বারা ইহা স্থিরীকৃত হইয়াছে যে, ঐ বিভিন্ন পদার্থের দণ্ডগুলির তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক উহাদের উপরে গলিত মোমের দৈর্ঘ্যের বর্গের সহিত সমানুপাতিক, অর্থাৎ যদি ধরা হয় K_1, K_2, K_3,……… ইত্যাদি ধাতব দণ্ডগুলির পরিবাহিতাঙ্ক এবং l_1, l_2, l_3, ………ইত্যাদি ঐ দণ্ডগুলির উপরের গলিত মোমের দৈর্ঘ্য, তাহা হইলে

$$\frac{K_1}{l^2_1}=\frac{K_2}{l^2_2}=\frac{K_3}{l^2_3}, \text{ …………… ইত্যাদি।}$$

সুতরাং আমরা দেখিতে পাই দুই বা ততোধিক পদার্থের তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক ইন্‌জেন্‌হাউজ-এর পরীক্ষা দ্বারা সহজেই তুলনা করা যায়।

11·10. তাপ-পরিবহণের ব্যবহারিক ফলাফল :

(ক) অনেকসময় কেট্‌লির হাতলে বেত জড়ানো থাকে। ইহার কারণ, বেত তাপ-কুপরিবাহী। সুতরাং গরম কেট্‌লি বেত-জড়ানো হাতলের সাহায্যে সহজেই উনুন হইতে নামানো যায়।

(খ) শীতকালে গরম গায়ের কাপড়, পশমী কোট ইত্যাদি ব্যবহার করা হয়। ইহার কারণ, ঐ পশমী কাপড় ইত্যাদি তাপ-কুপরিবাহী। সুতরাং আমাদের দেহের তাপ ঐ কাপড়ের আবরণ ভেদ করিয়া বাহিরের শীতলতর স্থানে পরিবাহিত হয় না। কাজেই বাহিরের শীত তেমন অনুভূত হয় না।

(গ) ঠাণ্ডা ঘরে কাঠ এবং ধাতব নির্মিত বস্তু যদিও একই তাপমাত্রায় থাকে কিন্তু উহাদের স্পর্শ করিলে ধাতব বস্তু কাঠের বস্তু অপেক্ষা অধিক শীতল বোধ হইবে। কারণ ধাতব বস্তু তাপ-সুপরিবাহী হওয়ায় ধাতব বস্তুস্পর্শে দেহ হইতে তাপ ধাতব বস্তুতে পরিবাহিত হয়। কিন্তু কাঠ তাপ-কুপরিবাহী হওয়ায় উহাতে তাপ পরিবাহিত হইতে পারে না।

অনুরূপ[illegible]ণে শীতকালে সকালবেলায় একটি ধাতবদণ্ড এবং একটুকরা পাথর বাহিরে পড়িয়া থাকিলে, স্পর্শে লৌহদণ্ড অধিকতর শীতল বোধ হইবে। আবার দুপুরের গরমে লৌহদণ্ডটি অধিকতর গরম বোধ হইবে, যেহেতু উত্তপ্ত লৌহদণ্ড হইতে তাপ দেহে দ্রুত পরিবাহিত হয়।

(ঘ) কম্বল অথবা করাতের গুঁড়া দিয়া এক ঢেলা বরফ ঢাকিয়া রাখিলে বরফ-ঢেলাটি গলিয়া যাইতে অপেক্ষাকৃত অধিক সময় লাগে। ইহার কারণ, করাতের গুঁড়া এবং কম্বল তাপ-কুপরিবাহী। সুতরাং বাহির হইতে উহাদের মধ্য দিয়া উল্লেখযোগ্য-ভাবে তাপ পরিবাহিত হইয়া বরফকে গলাইতে সমর্থ হয় না।

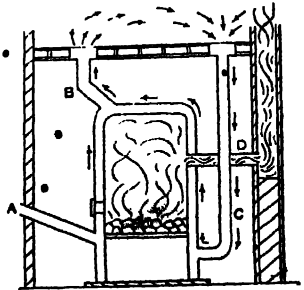
(ঙ) শীতের দিনে একটি পুরু শার্ট অপেক্ষা উহার অর্ধেক পুরু দুইটি শার্ট গায়ে দিলে আমরা তত শীত বোধ করি না। ইহার কারণ, দুইটি শার্টের অভ্যন্তরের স্থান বাতাসপূর্ণ থাকে। বাতাস তাপ-কুপরিবাহী হওয়ায় আমাদের দেহ হইতে তাপ বাহিরে চলিয়া আসিতে বিশেষভাবে বাধাপ্রাপ্ত হয়।

অনুরূপ কারণে শীতপ্রধান দেশের ঘরগুলিতে একটি জানালার বদলে দুইটি জানালা ব্যবহার করা হয়।

11·11. তাপ-পরিচলনের ফলাফলের ব্যবহারিক প্রয়োগঃ

(1) বায়ু-চলাচল (Ventilation)—একটি বদ্ধ ঘরে লোকজন বেশী থাকিলে মানুষের দেহের তাপ, শ্বাস-প্রশ্বাস এবং বাতি ইত্যাদি জ্বালানোর ফলে ঘরের মধ্যে বায়ু দূষিত ও উত্তপ্ত হইয়া যায়; ঘরের ভিতরে বায়ুর মধ্যে অক্সিজেনের পরিমাণ কম হইতে থাকে। ঐ বদ্ধ ঘরের মধ্যে বিশেষ করিয়া রাত্রিকালে বাস করা স্বাস্থ্যের পক্ষে খুবই ক্ষতিকর। কাজেই ঐ ঘরে বায়ু-চলনের পথ রাখা একান্ত প্রয়োজন। এইজন্য পাকা ঘরের উপরের দিকে দেওয়ালের গায়ে ঘুলঘুলি (Ventilator) বসানো হয়। গরম দূষিত বায়ু ঐ ঘুলঘুলি দিয়া বাহিরে চলিয়া যায় এবং তাহাদের স্থানে জানালা ইত্যাদির খড়খড়ির মধ্য দিয়া বাহিরের বিশুদ্ধ বায়ু ঘরের মধ্যে প্রবেশ করে। ঘরে বায়ুর এই পরিচলন না হইলে অনেকসময় অক্সিজেন অভাবে নানারকমের বিপদ ঘটিতে পারে।

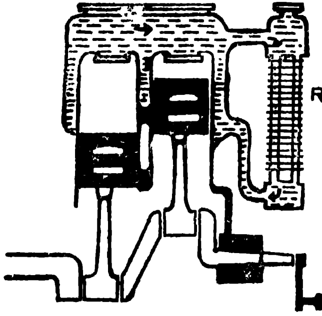
(2) উষ্ণ বায়ুর সাহায্যে ঘর গরম রাখার ব্যবস্থা (Air-heating arrangement)—এই ব্যবস্থায় নলের বায়ুর সাহায্যে তাপ-পরিচলনে ঘর গরম রাখা হয়। এই যন্ত্রের একটি সহজ ছবি 11M চিত্রে দেখানো হইল। চিত্রানুযায়ী আমরা দেখিতে পাই যে, বাহিরের বায়ু *A* নল দ্বারা শোষিত হইয়া একটি আগুনের বাক্সের (Fire-box) সংস্পর্শে আসে। ইহার ফলে ঐ বায়ু উত্তপ্ত হইয়া হাল্কা হয় এবং উহা *B* নলের মধ্য দিয়া উপরের দিকে উঠিতে থাকে। এই গরম হাল্কা বায়ু ঘরের মধ্যে প্রদক্ষিণ করে এবং ঘরটি আবশ্যক তাপমাত্রায় রক্ষিত হইয়া থাকে।



চিত্র 11M

ঘরের মধ্যে গরম বায়ুর প্রদক্ষিণ চিত্রের তীর-চিহ্ন সাহায্যে দেখানো হইল।

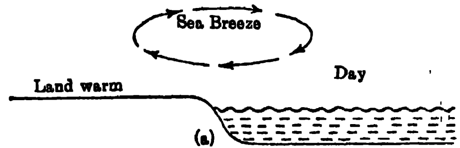
(3) মোটর-গাড়ির ইঞ্জিন শীতল রাখার ব্যবস্থা—মোটর-গাড়ি চলিবার সময় উহার সিলিণ্ডারের অভ্যন্তরে পেট্রোল-দহনে অত্যধিক তাপের উৎপত্তি হয়। সুতরাং গাড়ি-চলা যাহাতে বিঘ্নিত না হয় সেইজন্য ইঞ্জিনটি সামগ্রিকভাবে শীতল করার স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থা থাকে। 11N চিত্রে এইপ্রকারের ব্যবস্থা দেখানো হইল। চিত্র অনুযায়ী দেখা যায় ইঞ্জিনের সিলিণ্ডার ঘিরিয়া একটি জলপাত্রের আবরণ (Jacket) থাকে। উহা অনুভূমিক নলের সাহায্যে তাপ-বিকিরকের (R) সহিত সংযুক্ত। আবরণের গরম জল উপরের নল দিয়া বিকিরকে প্রবেশ করে। ঐ জল তাপ-বিকিরকের সাহায্যে শীতল হয় এবং পুনরায় নীচের নল দিয়া আবরণে প্রবেশ করে। জলের এই প্রদক্ষিণের ফলে সিলিণ্ডারে উৎপন্ন তাপ পরিচালিত হইয়া বিকীর্ণ হয় এবং ইঞ্জিনটি শীতল থাকে। অনেকক্ষণ গাড়ি চলিলে মাঝে মাঝে বাহিরের শীতল জলও আবরণের মধ্যে ঢালা প্রয়োজন হয়।



চিত্র 11N

(4) সমুদ্র-বায়ু (Sea-Breeze) এবং স্থল-বায়ু (Land-Breeze) :

(ক) **সমুদ্র-বায়ু**—জলের আপেক্ষিক তাপ সর্বাধিক হওয়ায় সূর্যের তাপে সমুদ্র-উপকণ্ঠের স্থানগুলি সমুদ্রের জল অপেক্ষা অধিক উত্তপ্ত হয়। ইহার ফলে স্থলের সন্নিহিত বায়ু অধিকতর উত্তপ্ত হইয়া উপরের দিকে উঠিতে থাকে এবং ঐ পরিত্যক্ত স্থানের চাপসমতা রক্ষার জন্য সমুদ্র-জলের সন্নিহিত শীতলতর বায়ু স্থলাভিমুখে প্রবাহিত হয়। বায়ুর এই স্থলাভিমুখী প্রবাহকে সমুদ্র-বায়ু বলা হয়। 11P(a) চিত্রে সমুদ্র-বায়ুপ্রবাহ দেখানো হইল।

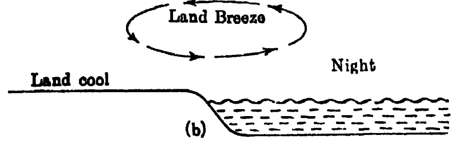


চিত্র 11P(a)

প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য, গ্রীষ্মের দিনে বিকালের দিকে কলিকাতায় যে শীতলতর বায়ু-প্রবাহ অনুভূত হয়, উহা বঙ্গোপসাগর হইতে আগত সামুদ্রিক বায়ু।

(খ) **স্থল-বায়ু**—রাত্রিকালে সমুদ্র-উপকণ্ঠের স্থলসমূহের উষ্ণতা যে হারে শীতল হয়, সমুদ্রের জল উহা অপেক্ষা কম হারে শীতল হইয়া থাকে। সুতরাং রাত্রিকালে

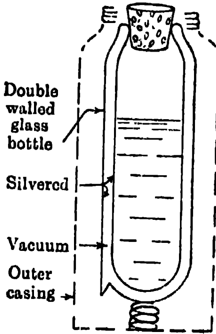
সমুদ্রজলের সংলগ্ন বায়ু উপকণ্ঠের বায়ু অপেক্ষা অধিক উষ্ণ থাকায় হাল্কা হয় এবং উহার চাপ হ্রাস পায়। বায়ুর চাপের সমতা রক্ষার জন্য স্থলের সন্নিহিত অপেক্ষাকৃত উচ্চচাপের বায়ু সমুদ্র অভিমুখে প্রবাহিত হয়। বায়ুর এই প্রবাহকে স্থল-বায়ু (Land-Breeze) বলা হয়। সাধারণতঃ স্থল-বায়ুপ্রবাহ শেষরাত্রে অধিক পরিলক্ষিত হয়। 11P(b) চিত্রে স্থল-বায়ুপ্রবাহ দেখানো হইল।



চিত্র 11P(b)

11·12. ডেওয়ার ফ্লাস্ক বা থার্মোফ্লাস্ক (Dewar's flask or Thermo-flask) ঃ তাপের পরিবহণ, পরিচলন এবং বিকিরণ এই তিন পদ্ধতির কোনটির সাহায্যেই থার্মোফ্লাস্কে রক্ষিত কোন বস্তু হইতে সহজে তাপ সঞ্চালিত হইতে পারে না। একারণে গরম চা, গরম দুধ ইত্যাদি থার্মোফ্লাস্কে রাখা হয়।

11Q চিত্র অনুযায়ী দেখা যায় এই থার্মোফ্লাস্ক কাচনির্মিত দুই-দেওয়ালবিশিষ্ট পাত্র। দেওয়াল দুইটির অভ্যন্তর বায়ুশূন্য থাকে। বাহিরের দেওয়ালের ভিতর-দিক এবং ভিতরের দেওয়ালের বাহিরের দিক পারদের প্রলেপ দ্বারা সাদা চক্চকে করা হয়। ঐ ফ্লাস্কের খোলা মুখ তাপ-কুপরিবাহী কর্ক দ্বারা আঁটা থাকে।



চিত্র 11Q

কাচ তাপ-কুপরিবাহী হওয়ায় এবং দেওয়াল দুইটির অভ্যন্তর বায়ুশূন্য ও সাদা চক্চকে থাকায়, উল্লিখিত পদ্ধতির কোনটির সাহায্যেই ফ্লাস্কে রক্ষিত বস্তু হইতে তাপ সহজে সঞ্চালিত হইতে পারে না। সুতরাং থার্মোফ্লাস্কে চা ইত্যাদি অনেকক্ষণ গরম থাকে।

11·13. তাপের শোষণ (Absorption), বিকিরণ (Radiation) এবং প্রতিফলন (Reflection) সম্পর্কে বিভিন্ন আলোচনা ঃ

(1) একই রকমের দুইটি থার্মোমিটারের একটি কুণ্ডে ভুসা-কালি মাখাইয়া উহাদের নিম্নলিখিতভাবে অবস্থান করাও—

(ক) বাহিরের রৌদ্রে—এক্ষেত্রে ভুসা-কালি-মাখানো থার্মোমিটারের পাঠ অপরটির তুলনায় অধিক নির্দেশিত হইবে। ইহার কারণ, ভুসা-কালি বাহিরের তাপ অপেক্ষাকৃত অধিক শোষণ করে।

(খ) রাত্রির নির্মল মেঘশূন্য উন্মুক্ত আকাশতলে—ভুসা-কালি-মাখানো থার্মোমিটারে পাঠ অপরটির তুলনায় কম নির্দেশিত হইবে। ইহার কারণ, ভুসা-কালি-মাখানো কুণ্ডের পৃষ্ঠ অপেক্ষাকৃত অধিক তাপ বিকিরণ করে।

(গ) রাত্রির স্যাঁতসেঁতে মেঘাচ্ছন্ন আকাশতলে—ভুসা-কালি-মাখানো থার্মোমিটারের পাঠ অপরটির তুলনায় অধিক নির্দেশিত হইবে। ইহার কারণ, স্যাঁতসেঁতে মেঘাচ্ছন্ন রাত্রিতে পৃথিবীর পৃষ্ঠের তাপ বিকিরণে বিঘ্নিত হয়। সুতরাং পৃথিবীর পৃষ্ঠের সন্নিহিত বায়ুমণ্ডল উত্তপ্ত থাকে এবং ভুসা-কালি-মাখানো কুণ্ডটি অধিকতর তাপ শোষণ করায় ঐ থার্মোমিটার অপরটির তুলনায় অধিক তাপমাত্রা নির্দেশ করে।

(2) রান্নার পাত্রগুলির বাহিরের পৃষ্ঠ অমসৃণ ও কালো রাখা বাঞ্ছনীয়। ইহার কারণ, কালো রঙের পৃষ্ঠ চুল্লীর তাপ অত্যধিক শোষণ করিতে সমর্থ হয় এবং উহার তল অমসৃণ থাকায় উহা হইতে কম তাপ প্রতিফলিত হইয়া থাকে। ফলে পাত্রস্থ বস্তু অপেক্ষাকৃত অল্পসময়ে উপযুক্তভাবে উত্তপ্ত হইতে পারে। প্রসঙ্গতঃ উল্লেখযোগ্য, পল্লী অঞ্চলে এই কারণে রান্না করিবার জন্য মাটির হাঁড়ি ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(3) গরমের দুপুরে রঙীন পোশাক অপেক্ষা সাদা রঙের পোশাক বাঞ্ছনীয় এবং শীতকালে সাদা পোশাক অপেক্ষা রঙীন পোশাক বাঞ্ছনীয়।

রঙীন পোশাকের তুলনায় সাদা পোশাক বাহিরের কম তাপ শোষণ করে এবং বাহিরে অধিক তাপ প্রতিফলন করে। সুতরাং গরমে সাদা পোশাকের ব্যবহার বাঞ্ছনীয়।

শীতের দিনে রঙীন পোশাকে তুলনায় অধিক তাপ শোষিত এবং কম তাপ প্রতিফলিত হয়। সুতরাং ঐ পোশাক দেহ গরম রাখিতে পারে।

(4) উত্তপ্ত চুল্লীর সমান দূরত্বে উপরের দিকের উষ্ণতা পাশের তুলনায় অধিক বিবেচিত হয়। ইহার কারণ, চুল্লীর তাপ বায়ুকণা দ্বারা উপরের দিকে পরিচালিত হয় এবং তুলনায় অপেক্ষাকৃত অল্প তাপ পাশের দিকে বিকীর্ণ হইয়া থাকে। পরিচলন-পদ্ধতিতে পাশের দিকে তাপ সঞ্চালিত হয় না। কারণ চুল্লীর উত্তাপে উত্তপ্ত হইয়া বায়ুকণাগুলি হাল্‌কা হইয়া যাওয়ায় উহারা উপরের দিকে চালিত হয় কিন্তু পাশের দিকে চালিত হইয়া পার্শ্ববর্তী স্থান উত্তপ্ত করিতে সমর্থ হয় না।

সারাংশ

তাপ তিন পদ্ধতিতে সঞ্চালিত হইতে পারে; যথা: (1) পরিবহণ, (2) পরিচলন এবং (3) বিকিরণ।

তাপ-পরিবহণ—এই পদ্ধতিতে তাপ বস্তুর উষ্ণতর স্থান হইতে শীতলতর স্থানে

গমন করে এবং বস্তুকণাগুলি স্থানচ্যুত না হইয়া পর পর উষ্ণ হইতে থাকে। সাধারণতঃ কঠিন পদার্থ তাপ-পরিবহণের উপযোগী।

তাপ-পরিচলন—এই পদ্ধতিতে বস্তুর কণাগুলি পর পর তাপপ্রযুক্ত স্থানে সরাসরি আসিয়া ঐ স্থান হইতে তাপ গ্রহণ করিয়া শীতলতর স্থানে সঞ্চালিত হয় এবং বস্তুটি সামগ্রিকভাবে উত্তপ্ত হয়। তরল এবং গ্যাসীয় পদার্থে এই প্রক্রিয়া পরিলক্ষিত হয়।

তাপ-বিকিরণ—এই পদ্ধতিতে তাপের উৎস হইতে তাপ সঞ্চালিত হইয়া কোন বস্তুতে সরাসরি আসিয়া পৌছায় এবং ঐ বস্তুকে উত্তপ্ত করে অথচ ইহাদের অন্তর্বর্তী স্থান উত্তপ্ত হয় না।

তাপ-পরিবাহিতা—ইহা বস্তুর এমন একটি ধর্ম যাহা নির্দেশ করে কোন্ বস্তু দিয়া কত সহজতর ভাবে তাপ পরিবাহিত হইতে পারে।

তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক—ইহা এমন পরিমাণ তাপ যাহা একক সময়ে একক ক্ষেত্রফলের এক পৃষ্ঠ হইতে অপর পৃষ্ঠে অভিলম্বভাবে পরিবাহিত হয় যখন উভয় পৃষ্ঠের তাপমাত্রার পার্থক্য একক এবং পৃষ্ঠ দুইটির ব্যবধান একক। গাণিতিক সঙ্কেতে তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক প্রকাশ করা হয়, $K = \dfrac{Q}{\dfrac{A \times (\theta_1 - \theta_2)}{d} \times t}$।

ইন্‌জেন্‌হাউজ-এর পরীক্ষা দ্বারা বিভিন্ন পদার্থের তাপ-পরিবাহিতাঙ্কের তুলনা করিতে পারা যায়।

তামার তাপ-সুপরিবাহিতাকে কার্যে প্রয়োগ করিয়া ডেভীর নিরাপত্তা-বাতি নির্মিত হইয়াছে।

তাপ-পরিচলন প্রক্রিয়ার ব্যবহারিক প্রয়োগে—ঘরে বায়ু-চলনের ব্যবস্থা, ঘর গরম রাখার ব্যবস্থা, মোটর-গাড়ির ইঞ্জিন শীতল রাখার ব্যবস্থা ইত্যাদি সম্ভব হয়। সমুদ্র-বায়ু এবং স্থল-বায়ু তাপ-পরিচলনের জন্যই সংঘটিত হয়।

থার্মোফ্লাস্কে পরিবহণ, পরিচলন এবং বিকিরণ পদ্ধতিতে তাপ-সঞ্চালন অধিক পরিমাণে বিঘ্নিত হয়। ফলে, উহার মধ্যে চা ইত্যাদি অনেকক্ষণ গরম রাখা সম্ভব হয়।

বিকীর্ণ তাপ এবং আলোক উভয়ই একপরিবারভুক্ত, তবে বিকীর্ণ তাপের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য আলোক-তরঙ্গের দৈর্ঘ্য অপেক্ষা অধিক।

প্রশ্নমালা

1. উপযুক্ত উদাহরণের সাহায্যে তাপ-সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতিগুলি আলোচনা কর। [Discuss the different modes of transmission of heat with suitable examples.]

2. তাপ-পরিবহণ এবং তাপ-পরিচলনের পার্থক্য কি? উপযুক্ত উদাহরণ দ্বারা উহা বুঝাইয়া দাও। [Distinguish between conduction and convection of heat. Illustrate the difference by examples.]

3. তাপ-পরিবাহিতাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ এবং গাণিতিক সঙ্কেতে উহা প্রকাশ কর। "সি.জি.এস্. পদ্ধতিতে কাচের তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক ·002"—এই উক্তিটির অর্থ সুস্পষ্টভাবে বুঝাইয়া দাও। [Define "co-efficient of thermal conductivity" and give a mathematical expression for it. Explain the statement that the thermal conductivity of glass is ·002 in C.G.S. units.]

4. তাপ-পরিবাহিতাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। এমন একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর যাহার সাহায্যে দণ্ডাকৃতির বিভিন্ন পদার্থ লইয়া উহাদের তাপ-পরিবাহিতাঙ্কের তুলনা করা সম্ভব। [Define co-eff. of thermal conductivity. Describe an experiment to compare the conductivities of different materials taken in the form of rods.]

5. একটি লোহার প্লেটের পৃষ্ঠ দুইটির প্রত্যেকটির ক্ষেত্রফল 150 sq. cm. এবং উহার বেধ 4 mm.। যদি প্লেটটির এক পৃষ্ঠের তাপমাত্রা 100°C এবং অপর পৃষ্ঠের তাপমাত্রা 30°C হয়, তাহা হইলে প্রতি সেকেণ্ডে উত্তপ্ত পৃষ্ঠ হইতে শীতলতর পৃষ্ঠে কি পরিমাণ তাপ পরিবাহিত হইবে তাহা নির্ণয় কর। (লোহার তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক = ·15) [The faces of an iron plate 4 mm. thick and 150 sq. cms. in area are kept at 100°C and 30°C respectively. Calculate the amount of heat conducted per sec. through the plate from the hotter face to the colder one. (Thermal conductivity of iron is ·15.)]

[*Ans.* 3937·5 cal./sec.]

6. কার্যপদ্ধতিসহ ডেভীর নিরাপত্তা-বাতির বর্ণনা কর। [Describe and explain the working of a Davy's Safety Lamp.]

7. কার্যপদ্ধতিসহ ডেওয়ার-এর ফ্লাস্কের বর্ণনা কর। [Describe and explain the working of Dewar's flask.]

8. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি সংক্ষেপে আলোচনা কর :—

(i) মোটর-গাড়ির ইঞ্জিন শীতলীকরণ ব্যবস্থা।

(ii) ঘর গরম রাখার ব্যবস্থা।

(iii) স্থল-বায়ু এবং সমুদ্র-বায়ু।

[Discuss the following in short :—

(i) Cooling system of an automobile engine.

(ii) Air-heating of a room.

(iii) Land and Sea Breezes.]

আলোক-বিজ্ঞান (Light)

প্রথম পরিচ্ছেদ

প্রাথমিক আলোচনা ও আলোকের ঋজুগতি

1·1. আলোক ও উহার উৎস: আলোক এমন একপ্রকারের বাহ্যিক উত্তেজনা (external stimulus) যাহা চক্ষুর উপর ক্রিয়া করার ফলে আমাদের চতুষ্পার্শ্বস্থ যাবতীয় বস্তু দৃষ্টিগোচর হয় এবং যাহার অভাবে চক্ষু মেলিয়া রাখিয়াও কোন বস্তু দেখা সম্ভব হয় না। প্রদীপ জ্বালাইয়া চক্ষু বুজিয়া থাকিলে ঘরের আসবাবপত্র দেখা যায় না। একারণে বলা হয় **আলোক এমন একপ্রকারের শক্তি যাহার অস্তিত্বের প্রত্যক্ষ উপলব্ধির জন্য চক্ষু একটি অপরিহার্য ইন্দ্রিয়।**

তাপ ইত্যাদি শক্তির ন্যায় আলোকও নিজে অদৃশ্য। কিন্তু উহা যখন কোন বস্তুতে আপতিত হয় তখন ঐ বস্তু দৃশ্যমান হয়। এই প্রসঙ্গে উল্লেখযোগ্য যে, কোন বদ্ধ ঘরের জানালার ছিদ্র দিয়া বাহিরের একগুচ্ছ আলোক যখন ঘরে প্রবেশ করে তখন ঘরের বায়ুতে ভাসমান ধূলিকণাগুলি আলোকের প্রবেশপথে অবস্থান করায় উহা আলোকিত হইয়া দৃশ্যমান হয় এবং ইহাকেই ভুলবশতঃ বলিয়া থাকি ঘরের ঐ আলোকগুচ্ছ দৃশ্যমান হইতেছে। প্রকৃতপক্ষে এক্ষেত্রে আমরা আলোক দেখি না, আলোকিত ধূলিকণাগুলিই দেখি।

আলোকের উৎস (Source of light)—শব্দ ও তাপের উৎস যেমন জড়বস্তু সেইরূপ আলোকের উৎসও জড়বস্তু। একটি ধাতব পিণ্ডকে ক্রমাগত উত্তপ্ত করিতে থাকিলে শেষপর্যন্ত উহা শ্বেততপ্ত (white hot) হইয়া আলোক বিকিরণ করে। এ-হিসাবে সূর্যকে শ্বেততপ্ত আলোক-বিকিরণকারী অতিকায় জড়পিণ্ড বলা হয়। দীপশিখা, ইলেকট্রিক বাতি ইত্যাদি যে-কোন আলোক-উৎসই ধরি না কেন, উহা মূলতঃ আলোক-বিকিরণকারী জড়বস্তু।

1·2. আলোকের প্রকৃতি বা স্বরূপ (Nature of light): আলোক-বিজ্ঞানের বিভিন্নমুখী প্রসারের সঙ্গে সঙ্গে আলোকের যথার্থ প্রকৃতি নির্ধারণ করিবার জন্য পর পর তিনটি মতবাদ প্রবর্তিত হইয়াছে। ইহাদের কোনটিই উপেক্ষা করিবার নহে। কারণ প্রত্যেকটির সাহায্যেই আলোক সম্পর্কে নানাবিধ ঘটনাবলীর যথাযথ ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব হইয়াছে। এই মতবাদ কয়টি যথাক্রমে—(১) আলোক-কণিকাবাদ (Corpuscular Theory of Light), (২) তরঙ্গবাদ (Wave Theory of Light) এবং (৩) শক্তিকণিকাবাদ (Quantum Theory of Light) বলিয়া

অভিহিত করা হয়। শেষোক্ত মতবাদ দুইটি আলোক-বিজ্ঞানের প্রাথমিক পাঠের বিষয়-ভুক্ত নয়।

বর্তমানে কণিকাবাদ সম্পর্কে সাধারণভাবে আলোচনা করা হইল।

কণিকাবাদ—এই মতবাদের প্রবর্তক বিশ্ববিখ্যাত বিজ্ঞানী নিউটন (Isaac Newton)। এই মতবাদ হিসাবে, কোন আলোক-উৎস হইতে অসংখ্য আলোক-কণিকা নির্গত হইয়া সরল পথে চলে এবং উহারা চক্ষুতে প্রবেশ করিয়া আলোকের অস্তিত্বের উপলব্ধি করায়। কোন বস্তুতে আপতিত এই কল্পিত আলোক-কণিকাগুলি প্রতিফলিত হইয়া যখন চক্ষুতে প্রবেশ করিতে পারে তখন ঐ বস্তু দৃশ্যমান হয়।

আলোক-কণিকাগুলির সরল পথে চলাকেই বলা হয় আলোকের ঋজুগতি। আলোক-বিজ্ঞানের যে অংশে ছায়ার সংগঠন, আলোকের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ সম্পর্কীয় ঘটনাবলী আলোকের ঋজুগতির সাহায্যে বুঝানো হইয়া থাকে, তাহাকে বলা হয় জ্যামিতিক আলোক-বিজ্ঞান (Geometrical Optics)। বর্তমানে এই জ্যামিতিক বিজ্ঞানই আমাদের আলোচনার বিষয়।

1·3. আলোক-বিজ্ঞানপাঠে ব্যবহৃত কয়েকটি শব্দের সংজ্ঞা :

(1) **আলোকপ্রভব**—যে বস্তু আলোক বিকিরণ করে তাহাকে আলোক-প্রভব বা আলোকের উৎস বলা হয়।

আলোকপ্রভব দুই প্রকারের। যথা—

(ক) **স্বপ্রভ** বা **স্বয়ংপ্রভ (Self-luminous)**—যে আলোক-উৎস নিজস্ব আলোক বিকিরণ করিতে সমর্থ হয় তাহাকে **স্বপ্রভ** বলা হয়। যথা—সূর্য, দীপশিখা ইত্যাদি।

(খ) **অপ্রভ**—যে উৎসের নিজস্ব কোন আলোক নাই কিন্তু অন্যের নিকট হইতে ধার-করা আলোক বিকিরণ করিতে সমর্থ হয়, তাহাকে **অপ্রভ** উৎস বলা হয়। যেমন—আকাশের চাঁদ। চাঁদের নিজস্ব আলোক নাই; সূর্যের ধার-করা আলোক চাঁদ বিকিরণ করে।

(2) **বিন্দুপ্রভব** (Point source of light) এবং **বিস্তৃত প্রভব** (Extended source of light) :

জ্যামিতিক বিন্দু আকারের আলোকপ্রভবকে বলা হয় **বিন্দুপ্রভব**।

যখন কোন নির্দিষ্ট আকারের বস্তু আলোক বিকিরণ করে, তখন উহাকে বলা হয় **বিস্তৃত প্রভব**। একটি বিস্তৃত প্রভব কতকগুলি বিন্দুপ্রভবের সমষ্টি হিসাবে পরিগণিত হয়। একটি দীপশিখাকে বিস্তৃত প্রভব বলা হয়।

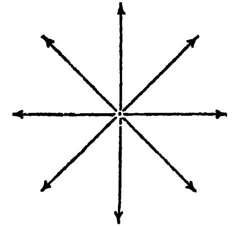
(3) আলোক-মাধ্যম (Optical medium) : যাহার ভিতর দিয়া আলোক অল্পবিস্তর চলাচল করিতে পারে, সাধারণভাবে আমরা তাহাকেই আলোক-মাধ্যম বলিয়া থাকি।

আলোক চলাচল সম্পর্কে জড়পদার্থগুলিকে আমরা প্রধানতঃ তিন প্রকারের মাধ্যমে বিশেষিত করি ; যথা—(ক) স্বচ্ছ মাধ্যম, (খ) অস্বচ্ছ মাধ্যম এবং (গ) ঈষৎ স্বচ্ছ বা ঈষৎ অস্বচ্ছ মাধ্যম।

(ক) **স্বচ্ছ মাধ্যম** (Transparent medium)—যে পদার্থের মধ্য দিয়া আলোক অবাধে চালিত হইতে পারে, আমরা তাহাকে বলিয়া থাকি **স্বচ্ছ মাধ্যম** বা **স্বচ্ছ পদার্থ**। জল, বায়ু, কাচ ইত্যাদি স্বচ্ছ মাধ্যমের পরিচিত উদাহরণ হিসাবে পরিগণিত হইয়া থাকে।

সমসত্ত্ব মাধ্যম (Homogeneous medium)—স্বচ্ছ মাধ্যম যখন সর্বদিকে সমগুণসম্পন্ন হয় (অর্থাৎ যখন উহার ঘনত্ব সর্বদিকে সমান হয় এবং উহার মধ্য দিয়া আলোক সর্বদিকে সমগতিতে চালিত হইতে পারে) তখন ঐ মাধ্যমকে বলা হয় সমসত্ত্ব মাধ্যম।

এইপ্রকারের মাধ্যমে কোন আলোকবিন্দু হইতে আলোক সর্বদিকে সমভাবে সরলরেখায় চালিত হইয়া থাকে (1A চিত্র দেখ)। যদিও স্তরভেদে বাতাসের ঘনত্ব বিভিন্ন, তথাপি সাধারণ উদাহরণ হিসাবে বাতাসকে সমসত্ত্ব মাধ্যম ধরিয়া লওয়া হয়।


চিত্র 1A

(খ) **অস্বচ্ছ মাধ্যম** (Opaque medium)—যে পদার্থের মধ্য দিয়া আলো চলাচল করিতে পারে না, তাহাকে অস্বচ্ছ মাধ্যম বলা হয়। ইট, কাঠ, ধাতব খণ্ড ইত্যাদি অস্বচ্ছ মাধ্যমের সাধারণ উদাহরণ হিসাবে ধরা হয়।

(গ) **ঈষৎ স্বচ্ছ বা ঈষৎ অস্বচ্ছ মাধ্যম** (Translucent or semi-transparent medium)—যে পদার্থের মধ্য দিয়া আলোক আংশিকভাবে চলাচল করিতে পারে, তাহাকে ঈষৎ স্বচ্ছ বা ঈষৎ অস্বচ্ছ মাধ্যম বলা হয়। ঘষা কাচ, পাতলা কাগজ ইত্যাদি ঈষৎ স্বচ্ছ মাধ্যমের পরিচিত উদাহরণ হিসাবে বিবেচিত হইয়া থাকে।

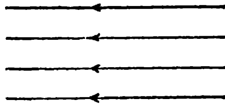
এ প্রসঙ্গে স্মরণ রাখিবে, যদিও ঘষা কাচ ঈষৎ স্বচ্ছ কিন্তু ঐ কাচ জলে ভিজাইলে উহার স্বচ্ছতা অধিক পরিমাণে ফিরিয়া আসিতে দেখা যায়। ইহার কারণ, ঘষা কাচখণ্ড জলে ভিজাইলে উহার উভয় পৃষ্ঠেই জলের মসৃণ তল সংগঠিত হয় এবং আলোক ইতস্ততঃ বিক্ষিপ্ত না হইয়া ঐ ভিজা, ঘষা কাচখণ্ডের মধ্য দিয়া সরাসরি চলিয়া আসিতে পারে।

1·4. আলোকরশ্মি (Ray of light) এবং রশ্মিগুচ্ছ (Pencil of rays): আলোক-বিজ্ঞানের প্রাথমিক পাঠে ধরা হইয়া থাকে যে, কোন প্রভব হইতে আলোক সরল পথে সর্বদিকে চালিত হয়। **আলোকের এই সরল পথকে বলা হয় আলোকরশ্মি।** এ-হিসাবে এক-একটি সরলরেখার সাহায্যে এক-একটি আলোকরশ্মি চিহ্নিত করা হইয়া থাকে।

কতকগুলি আলোকরশ্মির সমষ্টি নির্দেশ করে রশ্মিগুচ্ছ। সুতরাং রশ্মিগুচ্ছ কতিপয় সরলরেখা টানিয়া চিহ্নিত করা হয়।

সাধারণতঃ তিন প্রকারের রশ্মিগুচ্ছ বিবেচনা করা হয়—

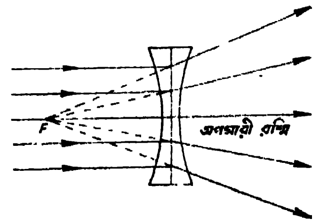
(১) **সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ** (Parallel pencil of rays)—যখন কোন প্রভব হইতে আগত রশ্মিগুলি পরস্পর সমান্তরাল রেখায় চালিত হয়, তখন উহাদের সমষ্টি নির্দেশ করে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ। একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি 1B চিত্রে দেখানো হইল।



চিত্র 1B

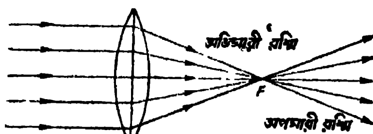
সাধারণতঃ দূরে অবস্থিত প্রভব হইতে আগত রশ্মিগুলি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ সংগঠন করে। এ-হিসাবে সূর্যের রশ্মিগুচ্ছ স্বাভাবিক সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ বলিয়া পরিগণিত হইয়া থাকে। পরীক্ষাগারে অনেকসময় কৃত্রিম উপায়ে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ সংগঠন করা হইয়া থাকে।

(২) **অপসারী রশ্মিগুচ্ছ** (Divergent pencil of rays)—যখন কোন রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলি শঙ্কু (Cone) আকারে প্রসারিত হয়, তখন এই রশ্মিগুচ্ছকে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ বলা হয়। কৃত্রিম উপায়ে একখানা অবতল লেন্সের (Concave lens) সাহায্যে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ-সংগঠন 1C চিত্রে দেখানো হইল।



চিত্র 1C

(৩) **অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ** (Convergent pencil of rays)—যখন কোন রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলি শঙ্কু আকারে চালিত হইয়া ঐ শঙ্কুর শীর্ষবিন্দুতে মিলিত হয় তখন এই রশ্মিগুচ্ছকে অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ বলা হয়। কৃত্রিম উপায়ে একখানা উত্তল লেন্সের (Convex lens) সাহায্যে অভিসারী ও অপসারী উভয় প্রকারের রশ্মিগুচ্ছের সংগঠন 1D চিত্রে দেখানো হইল।



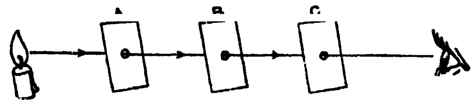
চিত্র 1D

1·5. আলোকের গতির বেগ (Velocity of light): 'আলোকের গতির বেগ'—এই কথা হইতে আমরা ইহাই বুঝিব যে, কোন আলোক-উৎস হইতে কোন মাধ্যমে আলোক প্রতি সেকেণ্ডে কতদূর চালিত হয়। বিভিন্ন মাধ্যমে আলোকের গতির বেগের পরিমাণ বিভিন্ন। শূন্যস্থানে আলোকের এই গতির বেগ সর্বাধিক। বৈজ্ঞানিকেরা বিভিন্ন পরীক্ষার দ্বারা নির্ধারণ করিয়াছেন যে, মোটামুটিভাবে শূন্যস্থানে আলোকের এই গতির বেগ প্রতি সেকেণ্ডে এক লক্ষ ছিয়াশি হাজার মাইল (1,86,000 miles)। সূর্য হইতে আমাদের পৃথিবীতে আলোক আসিতে আনুমানিক 8 মিনিট 18 সেকেণ্ড সময় লাগে। ইহাদ্বারা বুঝা যায়, সূর্য পৃথিবী হইতে প্রায় নয় কোটি ত্রিশ লক্ষ মাইল দূরে অবস্থিত। যদিও সূর্য পৃথিবী হইতে এই ধারণাতীত দূরে অবস্থিত তথাপি মনে করিবে না আমাদের এই নভোমণ্ডলে বিভিন্ন তারকার অবস্থানের তুলনায় সূর্যের এই দূরত্ব খুব বেশী। নভোমণ্ডলে এমন অনেক তারকা আছে যাহারা পৃথিবী হইতে এতই দূরে অবস্থান করে যে, উহাদের আলোক পৃথিবীতে এখনও আসিয়া পৌছায় নাই। আমরা যেসব নক্ষত্র দেখিতে পাই উহাদের মধ্যে অনেকেরই আলোক পৃথিবীতে আসিতে বহু বৎসর সময়ের প্রয়োজন হইয়াছে। আলোকের এই পূর্বোল্লিখিত প্রচণ্ড বেগ থাকা সত্ত্বেও পৃথিবীর উত্তরদিকে যে ধ্রুবতারাটি দেখিতে পাওয়া যায়, উহা হইতে পৃথিবীতে আলোক আসিতে 47 বৎসর সময়ের প্রয়োজন হয়।

কাজেই জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা পৃথিবী হইতে নক্ষত্রাদির দূরত্ব মাপিবার জন্য ফুট, ইঞ্চি, মাইল ব্যবহার করিয়া কূল পান না। একারণে নক্ষত্র ইত্যাদির দূরত্ব মাপিবার জন্য একটি নতুন একক প্রবর্তিত হইয়াছে। এই নতুন এককের নাম 'আলোক-বৎসর' (Light year)। অর্থাৎ আলোক প্রতি সেকেণ্ডে 1,86,000 মাইল বেগে চলিয়া এক বৎসরে যে পরিমাণ দূরে যাইতে পারে ঐ দূরত্বের নাম দেওয়া হয়—এক **'আলোক-বৎসর'**। এই হিসাবে পৃথিবী হইতে ধ্রুবতারার দূরত্ব 47 আলোক-বৎসর। সুতরাং 'আলোক-বৎসর' এককে পৃথিবী হইতে সূর্যের দূরত্ব একরূপ নগণ্য।

1·6. আলোকের ঋজুগতি: কোন প্রভব হইতে আগত আলোক-রশ্মির সরল পথে গমনকে বলা হয় আলোকের ঋজুগতি। নিম্নবর্ণিত পরীক্ষা কয়টির সাহায্যে এই ঋজুগতির প্রমাণ করা হইয়া থাকে।

(ক) **কার্ডবোর্ড সাহায্যে পরীক্ষা**—*A*, *B*, *C* তিন খণ্ড কার্ডবোর্ড পরস্পরের সমান্তরালে খাড়াভাবে স্থাপন কর। উহাদের প্রত্যেকটির মধ্যে একটি করিয়া সূক্ষ্ম ছিদ্র কর। ছিদ্র কয়টি যেন একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থান

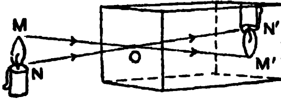


চিত্র 1E

করে 1E চিত্র দেখ)। অতঃপর ছিদ্র বরাবর A-এর সম্মুখে একটি জলন্ত মোমবাতি এবং C-এর পিছনে চক্ষু স্থাপন কর। এমতাবস্থায় চক্ষু দীপশিখাটি দেখিতে পাইবে। এখন মনে কর, B-বোর্ডখানি এপাশ-ওপাশ বা উপর-নীচ করা হইল, যাহাতে ছিদ্র তিনটি সমসূত্রে না থাকিতে পারে। এমতাবস্থায় চক্ষু আর মোমবাতিটি দেখিতে পাইবে না। এই সহজ পরীক্ষাটি আলোকের ঋজুগতি প্রমাণ করে।

(খ) **সূচি-ছিদ্র ক্যামেরা** (Pin-hole Camera)—সম্ভবতঃ চতুর্দশ শতাব্দীতে এই যন্ত্রটি উদ্ভাবিত হইয়াছিল। ইহা বর্তমান যুগের ফটো-ক্যামেরার সূত্রপাত হিসাবে পরিগণিত হইয়া থাকে।

1F রেখাচিত্রে যন্ত্রটি সহজভাবে দেখানো হইল। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, ইহা একটি বাক্সের তৈয়ারী। বাক্সটির সম্মুখে কার্ডবোর্ড এবং পিছনে ঘষা কাচের প্লেট বসানো আছে। কার্ডবোর্ডের মাঝামাঝি স্থানে সূচ কিংবা আলপিন-বিদ্ধ সূক্ষ্ম ছিদ্র করা থাকে। এই ব্যবস্থা থাকায় কার্ডবোর্ডের সম্মুখে ছিদ্র বরাবর একটি জলন্ত মোমবাতি স্থাপন করিলে উহার উল্‌টা ছবি ঘষা কাচের উপর পতিত হয়। মোমবাতিটির এই উল্‌টা ছবি-সংগঠন নির্দেশ করে আলোকের ঋজুগতি।



চিত্র 1F

ব্যাখ্যাঃ এক্ষেত্রে জলন্ত মোমবাতিটি বিস্তৃত প্রভব হিসাবে পরিগণিত হইয়া থাকে এবং উহার উপরের ও নীচের প্রান্তবিন্দুপ্রভবদ্বয় যথাক্রমে M এবং N দ্বারা চিহ্নিত হইয়াছে। উপরের M বিন্দু হইতে আগত রশ্মিগুলি চতুর্দিকে সরলরেখায় চালিত হয় এবং কার্ডবোর্ডটি অস্বচ্ছ হওয়ায় কেবলমাত্র উহার সূক্ষ্ম ছিদ্রপথে সঙ্কীর্ণ একগুচ্ছ রশ্মি MM' বরাবর বাক্সের অভ্যন্তরে প্রবেশ করে এবং কাচের প্লেটের নীচের দিকে M' বিন্দুতে পতিত হইয়া M-এর ছবি M' বিন্দুতে সংগঠন করে। অনুরূপভাবে দীপশিখার নীচের প্রান্তের N বিন্দুর ছবি প্লেটের উপরের দিকে N' বিন্দুতে সংগঠিত হয়। M এবং N-এর অন্তর্বর্তী অপরাপর প্রভববিন্দুগুলির ছবি M' এবং N'-এর অন্তর্বর্তী স্থানে সংগঠিত হয়। সুতরাং সামগ্রিকভাবে দীপশিখাটির উল্‌টা ছবি কাচের প্লেটে সংগঠিত হয়। সুতরাং এই উল্‌টা ছবি-সংগঠন নির্দেশ করে আলোকের ঋজুগতি।

ঘষা কাচের পরিবর্তে বাক্সের পিছনে একখানা ফটো-প্লেট বসাইয়া অপেক্ষাকৃত অধিক সময় যদি বাতিটি জ্বালাইয়া রাখা হয়, তাহা হইলে ঐ প্লেটের উপর (ক্যামেরার ন্যায়) স্থায়ী উল্‌টা ছবির ছাপ পড়িবে। সূচি-ছিদ্রের সাহায্যে যন্ত্রটিতে ক্যামেরার অনুরূপ কার্য সম্পাদিত হইতে পারায়, উহার নাম দেওয়া হইয়াছে সূচি-ছিদ্র ক্যামেরা।

সূচি-ছিদ্র ক্যামেরা সম্পর্কে বিবিধ আলোচনা—

(১) কার্ডবোর্ডের ছিদ্র আকারে বড় করিলে দীপশিখার ছবিটি অস্পষ্ট দেখাইবে। ছিদ্রটি আকারে বড় হইলে, উহা একাধিক সূচি-ছিদ্রের সমষ্টি হিসাবে পরিগণিত হয়। সুতরাং প্রত্যেকটি সূচি-ছিদ্রের জন্য এক-একটি উল্‌টা ছবি প্লেটের উপর পতিত হইবে। এই ছবিগুলির অধিক্রমণ (overlapping) সামগ্রিকভাবে ছবিটিকে অস্পষ্ট করিবে।

(২) ক্যামেরার অবস্থান ঠিক রাখিয়া—

(ক) বাতিটি দূরে সরাইলে, ছবিটি আকারে ছোট হইবে;

(খ) বাতিটি কাছে আনিলে, ছবিটি আকারে বড় হইবে।

(৩) কার্ডবোর্ড এবং বাতির অবস্থান ঠিক রাখিয়া—

(ক) ঘষা কাচের প্লেট দূরে সরাইলে, ছবিটি আকারে বড় হইবে এবং অস্পষ্ট দেখাইবে;

(খ) ঘষা কাচের প্লেট কাছে আনিলে, ছবিটি আকারে ছোট হইবে এবং স্পষ্ট দেখাইবে।

(২) এবং (৩) নং আলোচনার যথার্থতাও আলোকের ঋজুগতির সাহায্যে প্রমাণ করা হইয়া থাকে।

1F চিত্রের সূচি-ছিদ্রের অবস্থান O বিন্দু দ্বারা নির্দেশিত হইয়াছে। যেহেতু আলোকরশ্মি সরলরেখায় চালিত হয়, সুতরাং M, O এবং M' বিন্দু তিনটি MOM' রেখায় অবস্থান করে এবং N, O এবং N' বিন্দু তিনটিও NON' রেখায় অবস্থান করে। এক্ষেত্রে, MON এবং $M'ON'$ ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।

$$\text{সুতরাং,}\quad \frac{\text{প্রভবের দৈর্ঘ্য } MN}{\text{সূচি-ছিদ্র হইতে প্রভবের দূরত্ব}} = \frac{\text{ছবির দৈর্ঘ্য } M'N'}{\text{সূচি-ছিদ্র হইতে ছবির দূরত্ব}}\text{।}$$

২(ক) ক্ষেত্রে, প্রভবের দূরত্বের বৃদ্ধিতে ছবির দৈর্ঘ্যের ($M'N'$) আকার ছোট হওয়া প্রয়োজন, অন্যথায় দুই দিকের অনুপাতের সংখ্যা সমান হয় না।

২(খ) ক্ষেত্রে, প্রভবের দূরত্বের হ্রাসে ছবির দৈর্ঘ্যের ($M'N'$) আকার বৃদ্ধি পাওয়া প্রয়োজন, অন্যথায় দুই দিকের অনুপাতের সংখ্যা সমান হয় না।

অনুরূপভাবে ৩(ক) ও ৩(খ) এই উভয়ের আলোচনার যথার্থতা প্রমাণিত হইয়া থাকে।

উদাহরণ। মনে কর, কোন জানালায় একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র আছে। জানালার বিপরীত দিকের দেওয়াল 10 ft. দূরে অবস্থিত। জানালা হইতে 30 ft. দূরে বাহিরের একটি গাছের উল্‌টা ছবি ঘরের ঐ দেওয়ালে পতিত হয়। যদি ছবির দৈর্ঘ্য 4 ft. হয়, তাহা হইলে গাছের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা নির্ণয় কর।

1 F চিত্র অনুসারে এবং (২) ও (৩) নং আলোচনার যথার্থতা প্রমাণ-প্রসঙ্গে দেখা যায়, এক্ষেত্রে—

প্রভবের দৈর্ঘ্য = গাছের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা = $MN = ?$;

ছবির দৈর্ঘ্য = গাছের ছবির দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা = $M'N' = 4$ ft.;

জানালার ছিদ্র হইতে গাছের দূরত্ব = 30 ft.;

জানালার ছিদ্র হইতে দেওয়ালের ছবির দূরত্ব = 10 ft.

সুতরাং, $\frac{MN}{30 \text{ ft.}} = \frac{M'N'}{10 \text{ ft.}} = \frac{4 \text{ ft.}}{10 \text{ ft.}}$.

$$\therefore \quad MN = \frac{30 \times 4}{10} = 12 \text{ ft.}$$

কাজেই গাছটির উচ্চতা = 12 ft.

1·7. গাছের তলায় আলোকের ছাপ (Patches of light) : দুপুরবেলায় অথবা পূর্ণিমার মধ্যরাত্রিতে ঘনসন্নিবিষ্ট পত্রবহুল গাছের নীচে মাটির উপর ছোটবড় টুকরা-টুকরা গোলাকৃতি আলোর ছাপ দেখিতে পাওয়া যায়। সূর্য কি চন্দ্র হেলিতে থাকিলে ঐ ছাপগুলি অনেকটা উপবৃত্ত আকার ধারণ করে। আবার কতকগুলি আলোর ছাপ নানা ভাবের বিকৃত আকার ধারণ করে।

গাছের পাতাগুলি সাধারণতঃ সুবিন্যস্ত থাকে না। ইহার ফলে পাতাগুলির অন্তর্বর্তী স্থানে ছোটবড় রন্ধ্রের সৃষ্টি হয়। এই রন্ধ্রগুলি বস্তুতঃ সূচি-ছিদ্র ক্যামেরার কাজ করে। সুতরাং বাহিরের সূর্য কিম্বা চন্দ্রের রশ্মি ঐ ছিদ্রপথে প্রবেশ করিয়া দিনের বেলায় সূর্যের ছবির ছাপ এবং রাত্রিতে চাঁদের ছবির ছাপ মাটির উপর সংগঠন করে। ঐ রশ্মিগুচ্ছ যখন আনতভাবে ছিদ্র দিয়া চালিত হয় তখন উপবৃত্ত আকারের ছাপ সংগঠিত হয়। পাতাগুলির অন্তর্বর্তী স্থানের রন্ধ্রের আকার বড় থাকিলে বিকৃত আকারের আলোর ছাপ পরিলক্ষিত হয়।

এই আলোচনা হইতে বুঝা যায়, গাছের তলার আলোর ছাপও নির্দেশ করে আলোকের ঋজুগতির যথার্থতা।

1·8. ছায়া (Shadow), প্রচ্ছায়া (Umbra) এবং উপচ্ছায়া (Penumbra) :

ছায়া—কোন আলোকপ্রভবের সম্মুখে কোন অস্বচ্ছ পদার্থ স্থাপন করিলে আমরা দেখিতে পাই ঐ বস্তুর পিছনদিক আলোকিত হয় না। এই অন্ধকার স্থানে যদি একটি বিস্তৃত পর্দা (screen) স্থাপন করা হয়, তাহা হইলে অস্বচ্ছ বস্তুটির সীমারেখার

অনুরূপ ঐ পর্দার উপর একটি অন্ধকারের ছাপ পরিলক্ষিত হয়। এই **অন্ধকারের ছাপকেই বলা হয় পর্দার উপর পাতিত বস্তুটির ছায়া।**

প্রচ্ছায়া এবং উপচ্ছায়া—যখন একটি বিস্তৃত আলোকপ্রভবের সাহায্যে পর্দার উপর কোন প্রতিবন্ধকের ছায়া পাতিত হয় তখন এই ছায়াটির সর্বত্র সমান অন্ধকার হয় না। ছায়াটির কেন্দ্রস্থল সর্বাধিক গাঢ় অন্ধকারপূর্ণ থাকে। এই **গাঢ় অন্ধকারাচ্ছন্ন অঞ্চলকে বলা হয় প্রচ্ছায়া** এবং **ঐ প্রচ্ছায়া-ঘেরা অপেক্ষাকৃত কম অন্ধকারের অঞ্চলটিকে উপচ্ছায়া** বলা হইয়া থাকে। এই ছায়া-সংগঠনও নির্দেশ করে আলোকের ঋজুগতি। পরবর্তী পরিচ্ছেদে বিভিন্ন প্রকারের ছায়া-সংগঠন এবং সূর্য ও চন্দ্রগ্রহণ সম্পর্কে বিস্তৃত আলোচনা করা হইবে।

সারাংশ

আলোক এমন একপ্রকারের শক্তি যাহার অস্তিত্বের প্রত্যক্ষ উপলব্ধির জন্য চক্ষু একটি অপরিহার্য ইন্দ্রিয়। আলোকের যথার্থ স্বরূপ আলোচনার প্রসঙ্গে পর পর তিনটি মতবাদ প্রবর্তিত হইয়াছে ; যথা—(১) **কণিকাবাদ,** (২) **তরঙ্গবাদ,** এবং (৩) **শক্তি-কণিকাবাদ** (কোয়াণ্টাম-বাদ)।

আলোকপ্রভব— যে বস্তু আলোক বিকিরণ করে তাহাকে আলোকপ্রভব বলে। আলোকপ্রভব দুই প্রকারের ; যথা—(১) **স্বপ্রভ** এবং (২) **অপ্রভ।** কাল্পনিক জ্যামিতিক বিন্দুর আলোক-উৎসকে বলা হয় **বিন্দুপ্রভব।** কতগুলি বিন্দুপ্রভবের সমষ্টিকে বলা হয় **বিস্তৃত প্রভব।**

আলোক চলাচল সম্পর্কে বস্তুগুলিকে তিনভাগে বিভক্ত করা হয় ; যেমন—(১) **স্বচ্ছ মাধ্যম** (বাতাস, জল, কাচ ইত্যাদি), (২) **অস্বচ্ছ মাধ্যম** (ইট, কাঠ ইত্যাদি) এবং (৩) **ঈষৎ স্বচ্ছ মাধ্যম** (ঘষা কাচ ইত্যাদি)। **সমসত্ত্ব মাধ্যম**—স্বচ্ছ মাধ্যম যখন সর্বদিকে সমগুণসম্পন্ন হয় তখন উহাকে সমসত্ত্ব মাধ্যম বলা হয় (সাধারণভাবে বাতাসকে সমসত্ত্ব মাধ্যম ধরা হয়)।

আলোকরশ্মি—আলোকের সরল পথকে বলা হয় আলোকরশ্মি। উহা সরলরেখা দ্বারা চিহ্নিত হইয়া থাকে। কতগুলি রশ্মির সমষ্টিকে বলা হয় '**রশ্মিগুচ্ছ** (Pencil of rays)। রশ্মিগুচ্ছ তিন প্রকারের—(১) **সমান্তরাল গুচ্ছ,** (২) **অপসারী গুচ্ছ,** (৩) **অভিসারী গুচ্ছ।**

শূন্যস্থানে আলোকের গতিবেগ সর্বাধিক এবং উহার পরিমাণ প্রতি সেকেণ্ডে 1,86,000 মাইল। কোন উৎস হইতে আলোক এক বৎসরে যত দূরত্বে যাইতে পারে উহাকে বলা হয়—এক **'আলোক-বর্ষ'।** পৃথিবী হইতে ধ্রুবতারার দূরত্ব 47 আলোক-বর্ষ।

কার্ডবোর্ড-পরীক্ষার সাহায্যে, সূচি-ছিদ্র ক্যামেরার সাহায্যে এবং অস্বচ্ছ বস্তুর ছায়া-সংগঠনের সাহায্যে আলোকের ঋজুগতি সমর্থিত হইয়া থাকে।

প্রশ্নমালা

1. স্বচ্ছ, অস্বচ্ছ এবং ঈষৎ স্বচ্ছ মাধ্যম কাহাকে বলে? একখণ্ড ঘষা কাচ ঈষৎ স্বচ্ছ, কিন্তু উহা জলে ভিজাইলে স্বচ্ছ দেখায় কেন? [What do you mean by Transparent, Opaque and Translucent medium ? A piece of ground glass is translucent but why it looks transparent when wet ?]

2. আলোকের ঋজুগতি পরীক্ষার সাহায্যে দেখাও। [Demonstrate with experiment Rectilinear propagation of light.]

3. চিত্রাঙ্কন-সাহায্যে সূচি-ছিদ্র ক্যামেরার কার্যপদ্ধতি বুঝাইয়া দাও। [Explain with diagram the working of a Pin-hole camera.]

4. একটি সূচি-ছিদ্র ক্যামেরা বর্ণনা কর। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে ঐ ক্যামেরার ছবি কিরূপ হইবে তাহা বুঝাইয়া দাও— [Describe a Pin-hole camera. Explain how with the help of such a camera images will be formed in the following cases—]

(i) ক্যামেরার ছিদ্রটি যদি বড় হয়; [When the hole of the camera is enlarged ;]

(ii) আলোকপ্রভব যদি ক্যামেরার ছিদ্র হইতে দূরে সরাইয়া লওয়া হয়; [When the source of light is moved away from the hole of the camera ;]

(iii) আলোকপ্রভবের অবস্থান ঠিক রাখিয়া যদি ঘষা কাচের প্লেট ছিদ্র হইতে দূরে সরানো হয়। [The source of light remaining fixed when ground glass plate is moved away from the hole.]

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

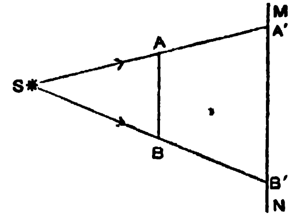
ছায়া-সংগঠন ও গ্রহণ

(Formation of Shadows and Eclipses)

পূর্বেই উক্ত হইয়াছে, আলোকের ঋজুগতির ফলে আলোকপ্রভবের সাহায্যে প্রতিবন্ধকের (obstacle) ছায়া সংগঠিত হয়। প্রকৃতিতে চন্দ্র ও পৃথিবীর ছায়া সূর্যের সাহায্যে সংগঠিত হইয়া থাকে এবং ঐ ছায়া সাধারণভাবে **গ্রহণ** (eclipse) নামে অভিহিত হয়। গ্রহণ-সংগঠন আলোচনার পূর্বে কয়েকটি প্রতিবন্ধকের ছায়া-সংগঠন পদ্ধতি আলোচিত হইল।

2·1. বিন্দু-আলোকপ্রভব এবং একটি প্রতিবন্ধক (A point source of light and an obstacle) :

2A চিত্র অনুযায়ী 'S' একটি বিন্দুপ্রভব, AB প্রতিবন্ধক এবং MN পর্দা। S-এর সাহায্যে AB প্রতিবন্ধকের ছায়া MN পর্দার উপর পাতিত হইয়াছে এবং ঐ ছায়া $A'B'$ দ্বারা নির্দেশিত হইয়াছে।



চিত্র 2A

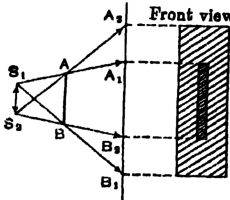
চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, ছায়াটির সীমারেখা (boundary) প্রতিবন্ধকের অনুরূপ এবং ইহার সর্বস্থানে অন্ধকারের গাঢ়তা সমান। সুতরাং এক্ষেত্রে, ছায়াটি সামগ্রিকভাবে **প্রচ্ছায়া** নির্দেশ করে।

ব্যাখ্যা—'S' হইতে আগত অপসারী রশ্মিগুলি সর্বদিকে ছড়াইয়া যায়। যেহেতু AB প্রতিবন্ধকটি অস্বচ্ছ এবং আলোক ঋজুপথে গমন করে, সুতরাং ABS শঙ্কুর অন্তর্ভূত রশ্মিগুলি প্রতিবন্ধকের মধ্য দিয়া বাহির হইয়া আসিতে পারে না। কাজেই প্রতিবন্ধকটির পিছন অন্ধকারাচ্ছন্ন থাকে এবং পর্দার উপর এই অন্ধকারের ছাপ পরিলক্ষিত হয়। শঙ্কুর SAA' এবং SBB' সীমারেখাদ্বয়ের বাহিরে অবস্থিত পর্দার অংশ আলোকিত হইয়া থাকে। আলোকরশ্মি বক্রপথে চলিতে পারিলে প্রতিবন্ধকের পিছনও আলোকিত হইতে পারিত এবং ছায়া-সংগঠন সম্ভব হইত না।

চিত্রদৃষ্টে ইহাও সুস্পষ্ট যে, ABS এবং $A'B'S$ ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ। সুতরাং AB এবং MN-এর অবস্থানের উপর ছায়ার আকার নির্ভর করে; যেমন—S এবং AB-এর অবস্থান ঠিক রাখিয়া পর্দাটি দূরে সরাইলে ছায়া আকারে বড় হইবে এবং পর্দাটিকে কাছে আনিলে ছায়া আকারে ছোট হইবে।

2·2. প্রতিবন্ধক প্রভব অপেক্ষা আকারে বড় (Obstacle larger than the source) :

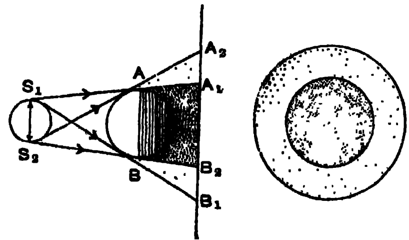
(i) **প্রতিবন্ধকটি দণ্ডাকৃতির**—2B চিত্র অনুযায়ী S_1S_2 নির্দেশ করে একটি বিস্তৃত প্রভব এবং S_1 ও S_2 ইহার প্রান্তবিন্দুপ্রভব। AB নির্দেশ করে দণ্ডাকৃতি প্রতিবন্ধক, উহা প্রভব হইতে আকারে বড়। পর্দাটি AB দণ্ডের পিছনে অবস্থিত।



চিত্র 2B

2·1 অনুচ্ছেদের আলোচনা অনুযায়ী S_1 প্রভববিন্দু দ্বারা পর্দার উপর পাতিত AB দণ্ডের ছায়া A_1ও B_1 দ্বারা সীমিত এবং S_2 দ্বারা পাতিত ছায়া A_2 ও B_2 দ্বারা সীমিত (চিত্র দেখ)। সুতরাং S_1 ও S_2 প্রভব-বিন্দু দুইটির সহযোগে পাতিত ছায়া A_2B_1 দ্বারা নির্দেশিত হয়। S_1 এবং S_2-এর অন্তর্বর্তী প্রভববিন্দুগুলির দ্বারা পাতিত ছায়া A_2 ও B_1 বিন্দুর মধ্যেই অবস্থান করে। সুতরাং AB দণ্ডের সামগ্রিক ছায়াও A_2B_1 দ্বারা নির্দেশিত হইয়া থাকে। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, এই ছায়াটির অভ্যন্তরের A_1B_2 অংশ প্রভবের কোন অংশের দ্বারাই আলোকিত হয় না। সুতরাং A_1B_2 নির্দেশ করে প্রচ্ছায়া। সমগ্র ছায়ার A_1A_2 ও B_1B_2 নির্দেশ করে আংশিক আলোকিত অংশ। সুতরাং উহা সমগ্র ছায়ার উপচ্ছায়া অংশ নির্দেশ করে। পর্দার উপর চক্ষু স্থাপন করিলে (front view) ছায়া কিরূপ দেখাইবে তাহা অঙ্কনে বুঝানো হইয়াছে। ছবিটির ভিতরের অংশ প্রচ্ছায়া এবং উহাকে ঘিরিয়া উপচ্ছায়া অংশ অবস্থান করে। এক্ষেত্রে, পর্দার উপর এই সামগ্রিক ছায়াটি আকৃতিতে আয়তাকার দেখা যাইবে।

(ii) **প্রভব ও প্রতিবন্ধক উভয়ই গোলক আকৃতির এবং প্রতিবন্ধক আকারে বড়**—এক্ষেত্রে, পর্দার উপর পাতিত প্রতিবন্ধকের ছায়া গোল চাকৃতির ন্যায় দেখাইবে (2C চিত্র)। ঐ চাক্তির ভিতরের গাঢ় কালো অংশ প্রচ্ছায়া নির্দেশ করে এবং উহাকে ঘিরিয়া অপেক্ষাকৃত কম অন্ধকার, বৃত্তাকার অংশ উপচ্ছায়া নির্দেশ করে।



চিত্র 2C

এই ছায়াটি অঙ্কন করিতে নিম্ন-বর্ণিত পদ্ধতি অনুসৃত হইয়া থাকে।

প্রভব ও প্রতিবন্ধক উভয় গোলকের ব্যাস খাড়াভাবে অঙ্কন কর। S_1S_2 এবং AB যথাক্রমে নির্দেশ করে প্রভব ও প্রতিবন্ধকের এই অঙ্কিত ব্যাস (চিত্র দেখ)।

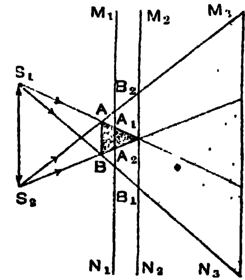
এখন মনে কর, S_1S_2 যেন প্রভব এবং AB যেন প্রতিবন্ধক। সুতরাং S_1 বিন্দুপ্রভব দ্বারা পাতিত AB-এর ছায়া পর্দার A_1B_1 অঞ্চলে অবস্থান করে এবং S_2 দ্বারা পাতিত ছায়া A_2B_2 অঞ্চলে অবস্থান করে। S_1 ও S_2-এর সহযোগে পাতিত ছায়া B_1A_2 অঞ্চল জুড়িয়া অবস্থান করে। যেহেতু S_1 ও S_2-এর অন্তর্বর্তী প্রভব-বিন্দুগুলির দ্বারা পাতিত ছায়া B_1A_2-এর বাহিরে সংগঠিত হইতে পারে না, সুতরাং B_1A_2 নির্দেশ করে, AB-এর সামগ্রিক ছায়া।

বাস্তবক্ষেত্রে এই অঙ্কিত রেখার A_1B_2 অংশ নির্দেশ করে প্রচ্ছায়া-বৃত্তের ব্যাস এবং সমগ্র A_2B_1 রেখা নির্দেশ করে উপচ্ছায়া-বৃত্তের ব্যাস।

2·3. প্রভব প্রতিবন্ধক অপেক্ষা আকারে বড় (Source larger than the obstacle) :

(i) **প্রভব ও প্রতিবন্ধক উভয়ই রেখা আকৃতির** (ধরা হইল)—2D চিত্রে S_1S_2 এবং AB যথাক্রমে আলোকপ্রভব এবং প্রতিবন্ধক নির্দেশ করে। এক্ষেত্রে, প্রতিবন্ধক অপেক্ষা প্রভব আকারে বড়।

মনে কর, প্রতিবন্ধকের পিছনে একটি পর্দা M_1N_1 অবস্থানে রাখা হইল। এই অবস্থায় S_1 এবং S_2 প্রান্ত-প্রভব-বিন্দু দুইটি দ্বারা পাতিত ছায়া যথাক্রমে পর্দার A_1B_1 এবং A_2B_2 অঞ্চলে অবস্থান করে। যেহেতু S_1 ও S_2-এর অন্তর্বর্তী প্রভব-বিন্দুগুলির দ্বারা পাতিত ছায়া B_1B_2 অঞ্চল অতিক্রম করিতে পারে না, সুতরাং S_1S_2 দ্বারা পাতিত AB প্রতিবন্ধকটির সামগ্রিক ছায়া পর্দার B_1B_2 অঞ্চল জুড়িয়া অবস্থান করে। চিত্রে পর্দার M_1N_1 অবস্থানে প্রচ্ছায়া অঞ্চল A_1A_2 দ্বারা এবং উপচ্ছায়া অঞ্চল A_1B_2 ও A_2B_1 দ্বারা নির্দেশিত হইয়াছে।



চিত্র 2D

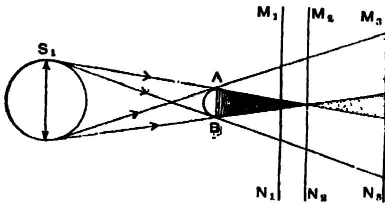
এখন পর্দাটিকে যদি প্রতিবন্ধক হইতে ক্রমাগত দূরে সরাইয়া লওয়া হয়, তাহা হইলে সামগ্রিক ছায়াটি পরিসরে বৃদ্ধি পাইবে কিন্তু উহার প্রচ্ছায়া অংশ ক্রমশঃ কমিতে থাকিবে এবং M_2N_2 অবস্থানে পর্দাটিকে আনিলে প্রচ্ছায়া অংশ একটি বিন্দুতে পর্যবসিত হইবে ও সামগ্রিক ছায়াটি উপচ্ছায়া দ্বারা নির্দেশিত হইবে।

পর্দাটিকে আরও দূরে সরাইয়া (মনে কর) M_3N_3 অবস্থানে আনিলে, প্রতিবন্ধকের ছায়ার কেন্দ্রীয় অঞ্চল ঈষৎ আলোকিত হইবে এবং উপচ্ছায়া অঞ্চলের অন্ধকারের গাঢ়তা কমিয়া আসিবে। এই অবস্থায় কেন্দ্রীয় অঞ্চলে চক্ষু স্থাপন করিয়া প্রতিবন্ধকের দিকে তাকাইলে দেখিতে পাইবে প্রভবের মধ্যস্থল প্রতিবন্ধক দ্বারা আবৃত

হইয়াছে এবং উহার বাহিরের অংশ হইতে কিয়ৎপরিমাণ আলো প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর বর্ধিত অঞ্চলের দিকে আসিতেছে। স্মরণ রাখিবে এইপ্রকারের ঘটনা **সূর্যের বলয়গ্রহণ** কালে পরিলক্ষিত হইয়া থাকে।

এ-সম্পর্কে উল্লেখযোগ্য, দিনের বেলায় পৃথিবীপৃষ্ঠের কাছাকাছি এরোপ্লেন উড়িতে থাকিলে, উহার ছায়া পৃথিবীর পৃষ্ঠে পতিত হয় কিন্তু উহা ঊর্ধ্বে থাকিলে উহার ছায়া পরিলক্ষিত হয় না। এক্ষেত্রে, সূর্য অতিকায় প্রভব এবং এরোপ্লেনটি নগণ্য আকারের প্রতিবন্ধক। প্লেন ঊর্ধ্বে থাকিলে উহার প্রচ্ছায়া অঞ্চল পৃথিবীপৃষ্ঠের বাহিরে থাকে এবং উপচ্ছায়া অঞ্চলের অন্ধকারের গাঢ়তা কমিয়া উহা অস্পষ্ট হয়। সুতরাং পৃথিবী-পৃষ্ঠে উহার ছায়া পরিলক্ষিত হয় না।

(ii) **প্রভব ও প্রতিবন্ধক উভয়ই গোলক আকৃতির এবং প্রভব আকারে বড়**—2·2 (ii) অনুচ্ছেদ-অনুরূপ আনুষঙ্গিক ছায়া গোল চাকতির ন্যায় পরিলক্ষিত হইবে। উহার কেন্দ্রস্থল প্রচ্ছায়া এবং বাহিরের বৃত্তাকার অংশ উপচ্ছায়া নির্দেশ করে। পর্দার উপর প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর ছেদরেখার দৈর্ঘ্য নির্দেশ করে প্রচ্ছায়া-চাকতির ব্যাস। 2E চিত্র অনুযায়ী দেখা যায় পর্দাটি প্রতিবন্ধক হইতে দূরে সরাইতে থাকিলে প্রচ্ছায়া অঞ্চল কমিতে থাকিবে এবং উপচ্ছায়া অঞ্চলের পরিসর বৃদ্ধি হইবে।



চিত্র 2E

পর্দাটি M_3N_3 অবস্থানে আনিলে, প্রচ্ছায়া অঞ্চলে আলোর ছাপ সংগঠিত হইবে এবং উপচ্ছায়া অঞ্চলেরও অন্ধকারের গাঢ়তা কমিয়া আসিবে। [এক্ষেত্রে 2·2 (ii) অনুচ্ছেদের অঙ্কনপদ্ধতি অনুসৃত হইয়াছে।]

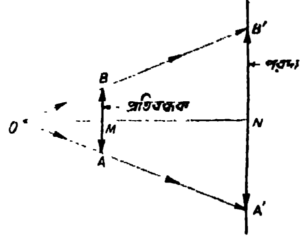
উদাহরণ। (1) একটি বিন্দু-আলোকপ্রভব হইতে এক ফুট দূরে দণ্ডাকৃতির একটি প্রতিবন্ধক খাড়াভাবে অবস্থিত। উহার পিছনে একটি পর্দা ঐ বিন্দু-আলোক-প্রভব হইতে তিন ফুট দূরে অবস্থিত। যদি প্রতিবন্ধকটির দৈর্ঘ্য এক ফুট হয়, তাহা হইলে পর্দাটির উপর প্রতিবন্ধকটির ছায়ার দৈর্ঘ্য কত হইবে তাহা নির্ণয় কর। [An obstacle in the form of a rod is held vertically in front of a point-source of light at a distance of 1 ft. from it. A screen is held behind the obstacle at a distance of 3 ft. from the source. If the length of the rod is 1 ft., calculate the length of the shadow cast on the screen.]

2F চিত্রের, $AB = AM + MB = 1$ ft. ;

$A'B' = A'N + NB' =$ ছায়ার দৈর্ঘ্য (মনে কর, x) ;

$OM = 1$ ft. ; এবং $ON = 3$ ft.

আলোক সরলরেখায় চলে, সুতরাং, OMB এবং ONB' ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।



চিত্র 2F

সুতরাং, $\frac{MB}{OM} = \frac{NB'}{ON}$ ... (i)

আবার, OMA এবং ONA' ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।

সুতরাং, $\frac{AM}{OM} = \frac{A'N}{ON}$. ... (ii)

(i) এবং (ii) যোগ করিলে,

$$\frac{MB + AM}{OM} = \frac{NB' + A'N}{ON} = \frac{x}{ON}.$$

সুতরাং, $\frac{1}{1} = \frac{x}{3}$.

সুতরাং, $x = 3$ ft. (ছায়ার দৈর্ঘ্য)

(2) একটি গোলাকার আলোকপ্রভবের ব্যাস 6 inches, উহার 2 ft. দূরে 8 inches ব্যাসের একটি ধাতব গোলক স্থাপন করিয়া উহার পিছনে 1 ft. দূরে একটি পর্দা রাখিলে বলটির যে ছায়া পাতিত হইবে, উহার প্রচ্ছায়া এবং উপচ্ছায়ার ব্যাস নির্ণয় কর। [What would be the lengths of the diameter of the umbra and penumbra of the shadow of a metal ball 8 inches in diameter placed 2 ft. from a source of light which is 6 inches in diameter, the screen being 1 ft. from the ball ?]

2C চিত্র অনুযায়ী, উপচ্ছায়ার ব্যাস B_1A_2 এবং প্রচ্ছায়ার ব্যাস $B_2A_1 = B_1A_2 - 2A_1A_2$। মনে কর, এই চিত্রের S_1B এবং S_2A রেখা দুইটি যে বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে তাহার নাম O, এবং এই O বিন্দু হইতে S_1S_2 এবং AB-এর দূরত্ব যথাক্রমে l_1 এবং l_2। সুতরাং, S_1S_2 এবং AB-এর দূরত্ব,

$$l = l_1 + l_2 = 2 \text{ ft.}$$
$$= 24 \text{ inches.}$$

এখন, S_1OS_2 এবং AOB এই কল্পিত ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।

সুতরাং, $\frac{S_1S_2}{l_1} = \frac{AB}{l_2}$

অথবা, $\frac{S_1S_2}{AB}=\frac{l_1}{l_2}$

অথবা, $\frac{S_1S_2+AB}{AB}=\frac{l_1+l_2}{l_2}$

অথবা, $\frac{6+8}{8}=\frac{2}{l_2}$ [যেহেতু $l_1+l_2=l=2$ ft.]

অথবা, $\frac{7}{4}=\frac{2}{l_2}$.

$\therefore\ l_2=\frac{8}{7}$ ft. $=\frac{96}{7}$ inches ;

$l_1=l-l_2=2-\frac{8}{7}=\frac{6}{7}$ ft. $=\frac{72}{7}$ inches.

সুতরাং, O বিন্দু হইতে পর্দার দূরত্ব

$=l_2+1=\frac{8}{7}+1=\frac{15}{7}$ ft. $=\frac{15\times 12}{7}=\frac{180}{7}$ inches.

আবার, OAB এবং OA_2B_1 ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।

সুতরাং, $\frac{AB}{l_2}=\frac{B_1A_2}{O \text{ হইতে পর্দার দূরত্ব}}$।

$\therefore\ \frac{8}{\frac{96}{7}}=\frac{B_1A_2}{\frac{180}{7}}$,

অথবা, $\frac{8\times 7}{96}=\frac{B_1A_2\times 7}{180}$

অথবা, $B_1A_2=\frac{8\times 180}{96}$

$=15$ inches (**উপচ্ছায়ার ব্যাস**).

আবার যেহেতু, S_1AS_2 এবং A_1AA_2 ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ,

সুতরাং, $\frac{S_1S_2}{l}=\frac{A_1A_2}{AB \text{ হইতে পর্দার দূরত্ব}}$

অথবা, $\frac{6}{24}=\frac{A_1A_2}{12}$.

$\therefore\ A_1A_2=3$ inches.

$\therefore$ **প্রচ্ছায়ার ব্যাস,** $A_1B_2=B_1A_2-2A_1A_2$

$=15-(2\times 3)$

$=9$ inches.

2·4. গ্রহণ (Eclipses) : আলো যে সরলরেখায় চলিয়া কোন প্রতিবন্ধকের ছায়া সংগঠন করিতে পারে ইহার প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত সূর্যগ্রহণ এবং চন্দ্রগ্রহণ হইতে পাওয়া যায়।

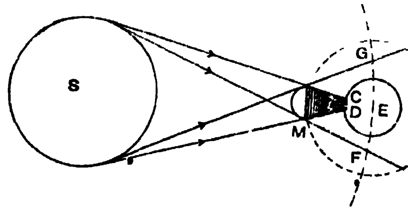
আমরা সাধারণভাবে বলিয়া থাকি দিনের বেলায় সূর্যরশ্মি দ্বারা পাতিত চন্দ্রের ছায়া যখন পৃথিবীপৃষ্ঠে পড়িতে পারে তখন সূর্যগ্রহণ হয়। আবার সূর্যরশ্মি দ্বারা পাতিত পৃথিবীর ছায়া যখন চন্দ্রের উপর পড়ে তখন চন্দ্রগ্রহণ হয়।

সূর্যগ্রহণ (Solar eclipse)—চন্দ্রের ছায়া পৃথিবীপৃষ্ঠের উপর পড়িতে গেলে, অর্থাৎ সূর্যগ্রহণ হইতে গেলে নিম্নলিখিত শর্তাবলীর পরিপূরণ হওয়া প্রয়োজন ; যথা—

(1) চন্দ্রের পৃথিবী বেষ্টন করিয়া ঘুরিবার কালে সূর্য ও পৃথিবীর মধ্যে উহার আসা প্রয়োজন। অর্থাৎ সূর্য, চন্দ্র এবং পৃথিবীর পর পর অবস্থান করা প্রয়োজন। এই অবস্থান শুধু অমাবস্যা তিথিতেই সম্ভব হয়। সুতরাং সূর্যগ্রহণ সংঘটিত হইতে হইলে অমাবস্যা তিথি প্রয়োজন।

(2) সূর্য, চন্দ্র এবং পৃথিবী পর পর অবস্থান করিলেই চলিবে না। উহাদিগকে একই সরলরেখায় অবস্থান করিতে হইবে। প্রতি অমাবস্যায় উহারা যে একই সরলরেখায় অবস্থান করিবে ইহা সম্ভব নহে। সুতরাং সূর্যগ্রহণ সংঘটিত হইতে হইলে এমন অমাবস্যা তিথি প্রয়োজন, যে অমাবস্যায় সূর্য, চন্দ্র ও পৃথিবী পর পর একই সরলরেখায় অবস্থান করিবে এবং পৃথিবীর অবস্থান চন্দ্রের এরূপ কাছে হইতে হইবে যাহাতে পৃথিবীপৃষ্ঠের কিছু স্থান জুড়িয়া চন্দ্রের প্রচ্ছায়া এবং উপচ্ছায়া পড়িতে পারে। সুতরাং সূর্যগ্রহণ সংঘটিত হইতে হইলে সূর্যের দ্বারা পাতিত চন্দ্রের ছায়া পৃথিবীপৃষ্ঠ স্পর্শ করা দরকার।

2G চিত্রে রেখা-অঙ্কনে সূর্যগ্রহণ-সংঘটন দেখানো হইল। এক্ষেত্রে সূর্য অতিকায় আলোকপ্রভব, চন্দ্র তুলনায় নগণ্য আকারের গোলাকার প্রতিবন্ধক এবং পৃথিবীপৃষ্ঠ যেন পর্দা। পৃথিবীপৃষ্ঠের উপর চন্দ্রের প্রচ্ছায়া এবং উপচ্ছায়া সমন্বিত সামগ্রিক ছায়া সূর্যের দ্বারা পাতিত হইয়াছে।



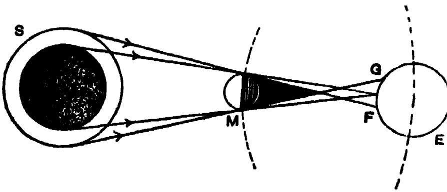
চিত্র 2G

চিত্রে পৃথিবীপৃষ্ঠের CD অংশ প্রচ্ছায়া নির্দেশ করে। সুতরাং ঐ স্থানের লোক সূর্যের পূর্ণ গ্রহণ বা পূর্ণ গ্রাস (total eclipse) দেখিতে পাইবে। অর্থাৎ ঐ স্থানের লোক সূর্য দেখিতে পাইবে না। পৃথিবীপৃষ্ঠের CG এবং DF অঞ্চল চন্দ্রের উপচ্ছায়া

নির্দেশ করে। সুতরাং ঐ স্থানের লোক সূর্যের আংশিক গ্রহণ বা খণ্ডগ্রহণ (partial solar eclipse) দেখিতে পাইবে।

যেহেতু চন্দ্রের আকার সূর্যের তুলনায় খুবই কম, কাজেই উহার প্রচ্ছায়া-শঙ্কু খুবই সঙ্কীর্ণ। সুতরাং প্রচ্ছায়া অংশ পৃথিবীপৃষ্ঠের খুব অল্পস্থান জুড়িয়া থাকে। একারণে আমরা বলিয়া থাকি সূর্যের পূর্ণ গ্রহণ পৃথিবীর খুব অল্পস্থান হইতে দেখা সম্ভব। তবে খণ্ডগ্রহণ বা আংশিক গ্রহণ পৃথিবীর অপেক্ষাকৃত অধিক স্থান হইতে দেখা যায়।

সূর্যের বলয়-গ্রহণ (Annular eclipse)—যখন পৃথিবী চন্দ্রের প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর বাহিরে থাকে, কিন্তু ঐ শঙ্কু বর্ধিত করিয়া যে অপসারী শঙ্কুর সৃষ্টি হয় উহা পৃথিবীর পৃষ্ঠ স্পর্শ করিতে পারে, তখন **বলয়-গ্রহণ** সংঘটিত হয়।

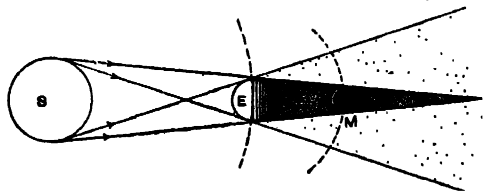


চিত্র 2H

2H চিত্রে উক্ত বর্ধিত অপসারী শঙ্কু পৃথিবীপৃষ্ঠের GF অংশ স্পর্শ করে এবং উহা আলোকিত হয়। ঐ স্থান হইতে সূর্যের দিকে তাকাইলে মনে হইবে সূর্যের মধ্যস্থল যেন কালো থালা দ্বারা আবৃত এবং উহাকে ঘিরিয়া আলোকের বেড় অবস্থান করিতেছে। ঐ বেড় হইতে আলোক-রশ্মিগুলি আসিয়া GF অঞ্চল আলোকিত করে।

বলয় আকৃতির উজ্জ্বল বেড়দৃষ্টে, এই প্রাকৃতিক ঘটনাকে বলা হয় বলয়-গ্রহণ। এইপ্রকারের সূর্যগ্রহণ কদাচিৎ সংঘটিত হয়। সুতরাং এই মনোরম দৃশ্য বহু লোকেই দেখিতে পায় না।

চন্দ্রগ্রহণ (Lunar eclipse)—চন্দ্র তাহার কক্ষপথ-পরিক্রমণকালে যখন সূর্য দ্বারা পাতিত পৃথিবীর ছায়ার মধ্যে প্রবেশ করে, তখন চন্দ্রগ্রহণ সংঘটিত হয়। পূর্ণিমা তিথিতে চন্দ্রগ্রহণ সংঘটিত হইতে পারে। কিন্তু সব পূর্ণিমায় উহার সংঘটন হয় না। যে পূর্ণিমা-রাত্রে পৃথিবী ও চন্দ্রের কক্ষপথ-তল প্রায় মিলিয়া যায় এবং সূর্য, পৃথিবী ও চন্দ্র পর পর প্রায় এক সরলরেখায় অবস্থান করে তখন চন্দ্রগ্রহণ সংঘটিত হয় (2I চিত্র দ্রষ্টব্য)।



চিত্র 2I

চন্দ্র যখন পৃথিবীর প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর মধ্যে অবস্থান করে তখন আমরা বলিয়া থাকি চন্দ্রের **পূর্ণ গ্রহণ** বা **পূর্ণ গ্রাস**।

চন্দ্র যখন আংশিকভাবে প্রচ্ছায়া-শঙ্কুতে অবস্থান করে তখন বলা হয় চন্দ্রের **আংশিক গ্রহণ** বা **খণ্ডগ্রহণ** (partial eclipse)।

পৃথিবীর প্রচ্ছায়া-শঙ্কুশীর্ষের যত কাছে চন্দ্র অবস্থান করিবে, গ্রহণের স্থিতিকাল তত কম হইবে। যেহেতু চন্দ্র ও পৃথিবীর মধ্যের দূরত্ব কখনও এরূপ অধিক হয় না যে, চন্দ্র পৃথিবীর প্রচ্ছায়া-শঙ্কুর শীর্ষের বাহিরে অবস্থান করিতে পারে; সুতরাং **বলয়-চন্দ্রগ্রহণ** সংঘটিত হইতে পারে না।

সারাংশ

ছায়া—আলোকপ্রভবের সম্মুখে কোন অস্বচ্ছ প্রতিবন্ধক স্থাপন করিলে উহার পিছনে অবস্থিত পর্দার উপর যে অন্ধকারের ছাপ পরিলক্ষিত হয়, উহাকে প্রতিবন্ধকের ছায়া বলা হয়।

প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া—বিস্তৃত প্রভব দ্বারা পাতিত কোন প্রতিবন্ধকের ছায়া সর্বত্র সমান অন্ধকার থাকে না। ঐ ছায়ার মধ্যস্থল গাঢ় অন্ধকার থাকে; উহাকে **প্রচ্ছায়া** বলা হয়। প্রচ্ছায়া ঘিরিয়া অপেক্ষাকৃত অল্প-অন্ধকার অঞ্চলকে বলা হয় **উপচ্ছায়া**। প্রতিবন্ধকের আকারভেদে পর্দার উপর পাতিত উহার ছায়ার আকৃতি বিভিন্ন; যেমন—দণ্ডাকৃতির প্রতিবন্ধকের ছায়া পর্দার উপর আয়তাকার দেখা যাইবে, গোলক আকৃতির ছায়া গোল চাকৃতির ন্যায় পরিলক্ষিত হইবে, ইত্যাদি।

সূর্যগ্রহণ ও চন্দ্রগ্রহণ উভয়ই প্রাকৃতিক ছায়া-সংগঠন হিসাবে পরিগণিত হয়। যে অমাবস্যায় সূর্য, চন্দ্র এবং পৃথিবী পর পর একই সরলরেখায় অবস্থান করে সেই অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ সংঘটিত হয়। সূর্যগ্রহণ তিনপ্রকারের; যথা—**পূর্ণ গ্রহণ, আংশিক গ্রহণ** এবং **বলয়-গ্রহণ**।

যে পূর্ণিমায় সূর্য, পৃথিবী এবং চন্দ্র পর পর একই সরলরেখায় অবস্থান করে, সেই পূর্ণিমায় চন্দ্রগ্রহণ সংঘটিত হয়। চন্দ্রগ্রহণ দুইপ্রকারের; যথা—**পূর্ণ গ্রহণ** এবং **আংশিক গ্রহণ**।

প্রশ্নমালা

1. ছায়া কিপ্রকারে সংগঠিত হয়? চিত্রের সাহায্যে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া সংগঠন বুঝাইয়া দাও। [How are shadows formed ? Explain with the help of a diagram the formation of Umbra and Penumbra.]

2. প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়ার মধ্যে পার্থক্য নির্ণয় কর। যদি আলোকপ্রভব এবং প্রতিবন্ধক উভয়ই গোলক আকৃতির হয়, তাহা হইলে নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া সংগঠন চিত্রাঙ্কনের সাহায্যে নির্দেশ কর। [Distinguish between

Umbra and Penumbra. When source and obstacle are both spherical in shape, indicate with sketches the formation of Umbra and Penumbra in the following cases—]

(a) আলোকপ্রভব প্রতিবন্ধক অপেক্ষা বড়; [Source larger in size than the obstacle.]

(b) প্রতিবন্ধক প্রভব অপেক্ষা বড়; [Obstacle larger in size than the source ;]

(c) আলোকপ্রভব এবং প্রতিবন্ধক সম-আকারের। [Source and obstacle are of same size.]

3. সূর্যগ্রহণ ও চন্দ্রগ্রহণ সংগঠন বুঝাইয়া দাও। [Explain the formation of Solar and Lunar eclipses.]

4. প্রতি অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ এবং প্রতি পূর্ণিমার চন্দ্রগ্রহণ কেন সংঘটিত হইতে পারে না, তাহা সহজভাবে বুঝাইয়া দাও। [Explain in a simple way why Solar eclipse does not occur in every New Moon and Lunar eclipse in every Full Moon.]

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

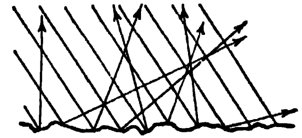
সমতলে আলোকের প্রতিফলন

3·1. আলোকের প্রতিফলনের অর্থ: আলোক সরল পথে এক মাধ্যম হইতে অপর একটি মাধ্যমে চলিবার পথে যখন মাধ্যম দুইটির সাধারণ বিভাগ-তলে (common surface of separation of the two media) আপতিত হয়, তখন ঐ তল হইতে আলোকের কিয়দংশ পুনরায় ভিন্নপথে সরলরেখায় প্রথম মাধ্যমে প্রত্যাবর্তন করে। **আলোকের এই প্রত্যাবর্তনকে বলা হয় আলোকের প্রতিফলন** (Reflection of light)।

যে তল হইতে আলোকের প্রতিফলন সংঘটিত হয়, তাহাকে বলা হয় **প্রতিফলন-তল** বা **প্রতিফলক।** মুখ-দেখার **আয়না** প্রতিফলকের পরিচিত উদাহরণ হিসাবে ধরা হয়।

প্রতিফলন-তলের অবস্থাভেদে দুইপ্রকারের প্রতিফলন পরিলক্ষিত হয়; যথা—(ক) **অনিয়মিত** বা **বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন** (Irregular or Diffused Reflection) এবং (খ) **নিয়মিত প্রতিফলন** (Regular Reflection)।

3·2. বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন: প্রতিফলকের তল অমসৃণ হইলে, উহা হইতে আলোক ইতস্ততঃ প্রতিফলিত হয়, অর্থাৎ আলোকের বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন সংঘটিত হয়। 3A চিত্রে নির্দিষ্ট দিক হইতে আগত একগুচ্ছ আলোকরশ্মি অমসৃণ তলে আপতিত হইয়াছে। ঐ আপতিত রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলি অপর কোন নির্দিষ্ট দিকে প্রতিফলিত না হইয়া ইতস্ততঃ প্রতিফলিত হইয়াছে।



চিত্র 3A

বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনের ফলাফল:

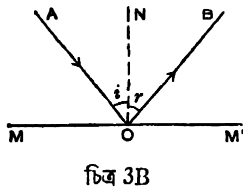
(১) দিনের বেলায় সূর্যের রশ্মি বাহিরের গাছপালার অমসৃণ গাত্রে আপতিত হইয়া বিক্ষিপ্তভাবে প্রতিফলিত হয়। সুতরাং বাহিরে তাকাইলেই আমরা উহাদের দেখিতে পাই।

(২) বাহিরের বিভিন্ন বস্তুর দ্বারা সূর্যরশ্মির বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনে দিনের বেলায় ঘরের ভিতর আলোকিত হয়।

(৩) মুখ-দেখার আয়নার পিছনের দিকে পারদ ও টিন মিশ্রিত সঙ্কর ধাতুর প্রলেপ দেওয়া থাকে। ঐ ধাতব প্রলেপ পুরাপুরি মসৃণ হয় না। ফলে, উহা হইতে কিয়ৎ-পরিমাণ আলোক বিক্ষিপ্তভাবে প্রতিফলিত হওয়ায় উহা সাদা চক্‌চকে দেখায়।

3·3. নিয়মিত প্রতিফলন : প্রতিফলকের তল মসৃণ হইলে, উহা হইতে আলোকের নিয়মিত প্রতিফলন হয়, অর্থাৎ উহার উপর আপতিত কোন আলোক-রশ্মি দুইটি নিয়মে আবদ্ধ থাকিয়া নির্দিষ্টপথে প্রতিফলিত হয়।

এই নিয়ম দুইটিকে বলা হয় প্রতিফলনের নিয়ম বা সূত্র। উহাদের নিম্নলিখিত-ভাবে বিবৃত করা হইয়া থাকে :



চিত্র 3B

প্রথম সূত্র : আপতিত রশ্মি (Incident ray), প্রতিফলিত রশ্মি (Reflected ray) এবং আপতন-বিন্দুতে অঙ্কিত প্রতিফলক তলের অভিলম্ব (Normal to the surface at the point of incidence) একই তলে অবস্থান করে।

দ্বিতীয় সূত্র : আপতন-কোণ (Angle of incidence) এবং প্রতিফলন-কোণ (Angle of reflection) পরস্পর সমান।

3B চিত্রে MM' একটি সমতল মসৃণ প্রতিফলক (Plane mirror), তীর-চিহ্নিত AO রেখা আপতিত রশ্মি, তীর-চিহ্নিত OB রেখা আনুষঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি, 'O' আপতন-বিন্দু এবং ON ঐ আপতন-বিন্দুতে অঙ্কিত প্রতিফলকের অভিলম্ব।

প্রথম সূত্র অনুযায়ী, AO, OB এবং ON একই তলে অবস্থান করে। যেহেতু ছবি পুস্তকের পৃষ্ঠায় অঙ্কিত হইয়াছে, সুতরাং উহারা এক্ষেত্রে পৃষ্ঠায় অঙ্কিত ছবির তলে (in the plane of the figure) অবস্থান করে।

ON অভিলম্বের সহিত আপতিত রশ্মি AO যে কোণ উৎপন্ন করে উহাকে আপতন-কোণ বলা হয় এবং ঐ অভিলম্বের সহিত প্রতিফলিত রশ্মি OB যে কোণ উৎপন্ন করে উহাকে প্রতিফলন-কোণ বলা হয়। চিত্র অনুযায়ী,

আপতন-কোণ $\angle AON = i$ ধরা হইল ;

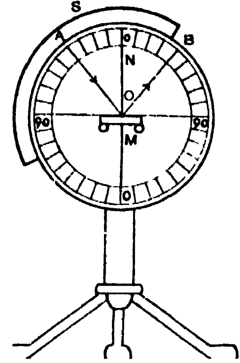
প্রতিফলন-কোণ $\angle BON = r$ „ „।

দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী, $i = r$।

3·4. পরীক্ষার সাহায্যে প্রতিফলনের সূত্রদ্বয়ের সত্যতা নির্ধারণ :

(১) **হার্টল-চক্র বা চাকতির** (Hartle's disc) **সাহায্যে প্রমাণ**—3C

চিত্র অনুযায়ী বুঝা যায়, হার্টল-চাকৃতিটি ভারী তেপায়া দণ্ডের উপর খাড়াভাবে অবস্থিত। উহার সম্মুখের সাদা সমতল পৃষ্ঠ সমান চারিভাগে বিভক্ত এবং প্রত্যেক ভাগ পরিধি বরাবর 0—90° ডিগ্রী কোণে অংশাঙ্কিত। চাকৃতির পরিধি আংশিক বেষ্টন করিয়া একটি ধাতব পর্দা (*S*) বসানো থাকে। পর্দাটির গায়ে একাধিক সমান্তরাল আয়তাকার রন্ধ্র কাটা আছে। প্রয়োজনমতো উহা বন্ধ কিম্বা খোলা হয়। চাকৃতির কেন্দ্রের অনুভূমিক অক্ষ বেষ্টন করিয়া চাকৃতি এবং পর্দা উভয়ই ঘুরানো যায়।



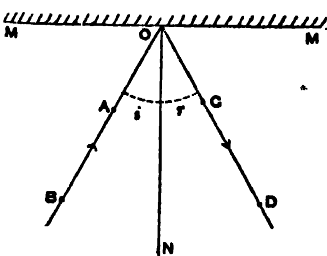
চিত্র 3C

কার্যপদ্ধতি—চিত্রে প্রদর্শিত *M* সমতল দর্পণটিকে স্ক্রু আঁটিয়া বসাও। এখন পর্দাটি ঘুরাইয়া সুবিধামতো স্থানে অবস্থান করাও এবং উহার কোন একটি রন্ধ্র দিয়া পর্দার বাহিরের আলোকরশ্মি *AO* চাকৃতির গা স্পর্শ করাইয়া দর্পণের '*O*' বিন্দুতে আপতন করাও। দেখিতে পাইবে, উহার আনুসঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি চাকৃতিটির গা বাহিয়া *OB* অভিমুখে চালিত হয়।

এক্ষেত্রে আপতিত রশ্মি *AO*, প্রতিফলিত রশ্মি *OB* এবং আপতন-বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব *ON* সকলেই চাকৃতির তলে অবস্থিত। সুতরাং উহারা সমতলভুক্ত হওয়ায় প্রথম সূত্র প্রমাণিত হইল।

অতঃপর চাকৃতির পরিধিতে অঙ্কিত স্কেলের সাহায্যে আপতন-কোণ ও প্রতিফলন-কোণ নির্ণয় কর। দেখিতে পাইবে উহারা পরস্পর সমান। সুতরাং দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হইল।

(২) **সমতল দর্পণ ও পিনের সাহায্যে প্রমাণ** (Pin-method)—একটি ড্রয়িংবোর্ডে (Drawing board) সাদা কাগজ আঁটিয়া পেন্সিলের একটি সূক্ষ্ম লাইন টান এবং একটুকরা সমতল দর্পণের প্রতিফলন-তল ঐ লাইনের সমসূত্রে রাখিয়া দর্পণটি খাড়াভাবে স্থাপন কর। 3D চিত্রে, *MM'* নির্দেশ করে দর্পণটির ছেদরেখা (Line of section)। এখন চিত্রে প্রদর্শিত দর্পণের সম্মুখে *A* ও *B* আলপিন দুইটি এমন অবস্থানে পুঁতিয়া দাও, যাহাতে উহাদের পাদপ্রান্ত-সংযোগ-রেখা *BA* তির্যক্‌ভাবে দর্পণতলে আপতিত হয়। অতঃপর দর্পণের সম্মুখে সুবিধামতো স্থানে চক্ষু



চিত্র 3D

স্থাপন করিয়া A ও B আলপিন দুইটির প্রতিবিম্ব দেখ এবং উহাদের সমসূত্রে C ও D অপর দুইটি আলপিন পুঁতিয়া দাও। যদি ঠিকভাবে আলপিনগুলি বসানো হইয়া থাকে, তাহা হইলে AB ও CD রেখা দুইটি দর্পণের ছেদরেখা MM'-এর 'O' বিন্দুতে মিলিত হইবে। এখন MM' ছেদরেখার উপর ON অভিলম্ব অঙ্কিত কর।

এক্ষেত্রে, BA নির্দেশ করে দর্পণতলে আপতিত রশ্মি, CD নির্দেশ করে আনুষঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি এবং ON নির্দেশ করে আপতন-বিন্দুতে (O) অঙ্কিত দর্পণ-তলের উপর অভিলম্ব। উহারা প্রত্যেকেই কাগজের সমতলে অবস্থিত। সুতরাং প্রথম সূত্রের সত্যতা নির্ধারিত হইল।

এখন চাঁদার সাহায্যে আপতন-কোণ ($\angle BON$) এবং প্রতিফলন-কোণ ($\angle DON$) মাপ। দেখিতে পাইবে উহারা পরিমাণে সমান। সুতরাং দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা নির্ধারিত হইল।

সাধারণতঃ সূত্র দুইটি প্রমাণ করিবার জন্য A ও B পিন দুইটি বিভিন্ন স্থানে পুঁতিয়া আনুষঙ্গিক BA সংযোগ-রেখাটিকে দর্পণতলের সহিত বিভিন্ন কোণে আনত করা হয় এবং বর্ণিত পরীক্ষাটির পুনরাবৃত্তি করিয়া সূত্র দুইটির সত্যতা নির্ধারণ করা হইয়া থাকে।

3·5. প্রতিবিম্ব (Image)ঃ কোন প্রভববস্তু হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ যখন সরাসরি আমাদের চোখে প্রবেশ করে তখনই আমরা ঐ প্রভব-বস্তুটিকে তাহার নিজের অবস্থানে দেখিতে পাই। কিন্তু যখন ঐ রশ্মিগুচ্ছ আমাদের চোখে সরাসরি না আসিয়া উহা প্রতিফলিত (reflected) বা প্রতিসৃত (refracted) হইয়া ভিন্ন পথে আমাদের চোখে আসিয়া পৌছায় তখন যেদিক্ হইতে এই প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ আসিতেছে সেইদিকে প্রভব-বস্তুটি অবস্থান করিতেছে বলিয়া মনে হইবে। **চক্ষুতে দৃশ্যমান এবং ভিন্ন স্থানে অবস্থিত এই প্রভব-বস্তুকে বলা হয় মূল বস্তুর প্রতিবিম্ব।**

উপরোক্ত সাধারণ আলোচনা-দৃষ্টে নিম্নলিখিতভাবে প্রতিবিম্বের সংজ্ঞা দেওয়া হইয়া থাকেঃ

বিন্দুপ্রভবের প্রতিবিম্বের সংজ্ঞা—যখন কোন বিন্দুপ্রভব হইতে সঙ্কীর্ণ রশ্মিগুচ্ছ কোন তলে আপতিত হওয়ার পর উহা প্রতিফলিত কিংবা প্রতিসৃত হইয়া অপর একটি বিন্দুতে মিলিত হইতেছে কিংবা উহা অপর একটি বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া প্রতীয়মান হইবে, তখন এই দ্বিতীয় বিন্দুটিকে বলা হয়—মূল বিন্দুপ্রভবের **প্রতিবিম্ব** (Image of the point-source)।

প্রতিবিম্ব দুইপ্রকারের ; যথা—(i) **সদ্‌বিম্ব** এবং (ii) **অসদ্‌বিম্ব**।

সদ্‌বিম্ব (Real image)—যখন কোন বিন্দুপ্রভব হইতে আগত অপসারী রশ্মি-গুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া অপর একটি বিন্দুতে মিলিত হয় তখন এই দ্বিতীয় বিন্দুকে বলা হয় মূল বিন্দুপ্রভবের সদ্‌বিম্ব।

অসদ্‌বিম্ব (Virtual image)—যখন বিন্দুপ্রভব হইতে আগত অপসারী রশ্মি-গুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হইয়া অপর একটি বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া প্রতীয়মান হয় তখন এই দ্বিতীয় বিন্দুটিকে বলা হয় মূল বিন্দুপ্রভবের অসদ্‌বিম্ব।

বিস্তৃত প্রভব-বস্তুর প্রতিবিম্ব (Image of an object)—একটি প্রভব-বস্তু কতকগুলি বিন্দুপ্রভবের সমষ্টি হিসাবে পরিগণিত হইয়া থাকে। সুতরাং আলোকের প্রতিফলন কিংবা প্রতিসরণের ফলে—(i) যখন গঠনকারী বিন্দুপ্রভবগুলির সদ্‌বিম্ব সংগঠিত হয়, তখন ঐ সদ্‌বিম্বগুলির সমষ্টি নির্দেশ করে মূল বস্তুর সদ্‌বিম্ব। (ii) যখন গঠনকারী বিন্দুপ্রভবগুলির অসদ্‌বিম্ব সংগঠিত হয়, তখন ঐ অসদ্‌বিম্বগুলির সমষ্টি নির্দেশ করে মূল বস্তুর অসদ্‌বিম্ব।

দর্পণে আমাদের যে মুখ দেখিতে পাই, উহা আলোকের প্রতিফলনের ফলে মুখের অসদ্‌বিম্ব। উত্তল লেন্সের সাহায্যে সিনেমার পর্দার উপর যে ছবি দেখিতে পাই, উহা আলোকের প্রতিসরণের ফলে সিনেমা-ফিল্মের সদ্‌বিম্ব।

3·6. সদ্‌বিম্ব ও অসদ্‌বিম্বের সাধারণ পার্থক্য:

(ক) সদ্‌বিম্ব কোন নির্দিষ্ট স্থানে বাস্তবভাবে অবস্থান করে; অর্থাৎ উহা শুধু চক্ষুতে দেখিতে পাই না, উহা কোন নির্দিষ্ট স্থানে পর্দার উপর সংগঠিত হইতে দেখা যায়।

অসদ্‌বিম্বের অবস্থান অবাস্তব। অর্থাৎ চক্ষুতে যেস্থানে অসদ্‌বিম্ব সংগঠিত হইতেছে মনে হইবে, ঐ স্থানে কোন পর্দা স্থাপন করিলে উহার উপর ঐ প্রতিবিম্ব সংগঠিত হইতে দেখা যায় না।

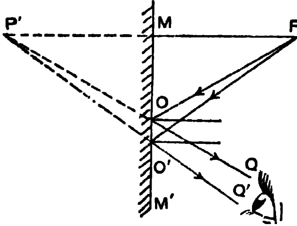
(খ) সদ্‌বিম্ব-সংগঠনের কোন সংস্থার (যেমন—উত্তল লেন্স, অবতল দর্পণ ইত্যাদি) সম্মুখে খাড়াভাবে অবস্থিত কোন বস্তুর ছবি পর্দার উপর উল্‌টাভাবে পাতিত হইতে দেখা যায়।

অসদ্‌বিম্ব-সংগঠনের কোন সংস্থার (যেমন—সমতল দর্পণ, অবতল লেন্স ইত্যাদি) সম্মুখে খাড়াভাবে অবস্থিত বস্তুর ছবি চক্ষুতে খাড়াভাবে অবস্থান করিতেছে বলিয়া প্রতীয়মান হয়।

এক্ষেত্রে স্মরণ রাখিবে, কোন বস্তুর ছবি উল্‌টাভাবে দেখিতে পাইলেই যে উহা সদ্‌বিম্ব তাহা নহে, যেমন জলাশয়ের তীরে অবস্থিত গাছপালার ছবি উল্‌টা দেখা গেলেও

উহা অসদ্‌বিম্ব। এই ছবি জলের উপরতল হইতে আলোকের প্রতিফলনে সংগঠিত হইয়া থাকে।

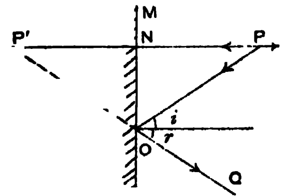
3·7. রশ্মিরেখা-অঙ্কনে (Ray-diagram) সমতল দর্পণে বিন্দুপ্রভবের প্রতিবিম্ব-সংগঠন : 3E চিত্রে, MM' নির্দেশ করে খাড়াভাবে অবস্থিত সমতল দর্পণের ছেদরেখা, P নির্দেশ করে দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত বিন্দুপ্রভব এবং PO ও PO' নির্দেশ করে P হইতে আগত অপসারী, সঙ্কীর্ণ রশ্মিগুচ্ছের প্রান্তীয় (marginal) রশ্মিদ্বয়।



চিত্র 3E

এখন এই অপসারী রশ্মিগুচ্ছ MM' দর্পণ-তলে আপতিত হওয়ায় PO এবং PO' আপতিত রশ্মির আনুষঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি OQ এবং $O'Q'$ দ্বারা নির্দেশিত হইয়া থাকে। এই রশ্মিদ্বয় পিছনের দিকে বর্ধিত করিলে P' বিন্দুতে মিলিত হয়। সুতরাং OQ এবং $O'Q'$ অভিমুখে চক্ষু স্থাপন করিলে মনে হইবে উহাদের অন্তর্বর্তী প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ যেন P' বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং প্রতিবিম্বের সংজ্ঞা অনুযায়ী, P' নির্দেশ করে P-এর অসদ্‌বিম্ব।

P' অসদ্‌বিম্বের অবস্থান নির্ধারণ—P'-এর অবস্থান নির্ণয় করিবার সময় P হইতে আগত দুইটি রশ্মি বিবেচনা করা হইয়া থাকে। দর্পণতলে লম্বভাবে আপতিত PN রশ্মি প্রতিফলিত হইয়া NP বরাবর প্রত্যাবর্তন করে। অপর রশ্মি PO দর্পণের O বিন্দুতে আপতিত হইয়া 3F চিত্র অনুযায়ী OQ অভিমুখে প্রতিফলিত হয়। সুতরাং চিত্রে প্রদর্শিত আপতন-কোণ i উহার আনুষঙ্গিক প্রতিফলন-কোণ r-এর সমান। এখন প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয় NP এবং OQ পিছনের দিকে বর্ধিত করিলে উহারা P' বিন্দুতে মিলিত হয়। এই P' বিন্দু নির্দেশ করে P-এর অসদ্‌বিম্ব।



চিত্র 3F

এক্ষেত্রে, চিত্রে প্রদর্শিত PNO এবং $P'NO$ ত্রিভুজ দুইটির

$$\angle NPO = i\ ;\ \angle NP'O = r = i.$$

$$\therefore\ \angle NPO = \angle NP'O\ ;$$

$\angle PNO = \angle P'NO$ [যেহেতু ইহারা প্রত্যেকে সমকোণ] ;

এবং ON উভয় ত্রিভুজের সাধারণ বাহু।

স্থতরাং, ত্রিভুজ দুইটি সর্বতোভাবে সমান।

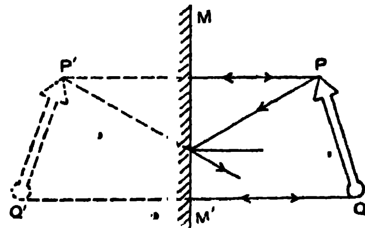
$$\therefore \quad PN = P'N.$$

অর্থাৎ সমতল দর্পণের ক্ষেত্রে, **বিন্দুপ্রভব দর্পণতলের সম্মুখে যতদূরে অবস্থিত, উহার আনুষঙ্গিক অসদ্‌বিম্ব দর্পণের পিছনে ততদূরে অবস্থান করে এবং বিন্দুপ্রভব ও উহার প্রতিবিম্বের সংযোগ-রেখা (PP') দর্পণের ছেদরেখা দ্বারা লম্বভাবে সমদ্বিখণ্ডিত হইয়া থাকে।**

স্থতরাং উপরের আলোচনা অনুযায়ী, P হইতে দর্পণতলে অঙ্কিত অভিলম্ব পিছনের দিকে বর্ধিত করিয়া উহার উপর এমন স্থানে একটি বিন্দু লও, যাহা দর্পণ হইতে প্রভব-বিন্দুর সমান দূরত্বে অবস্থান করে। এই বিন্দুটিই নির্দেশ করে সমতল দর্পণে বিন্দু-প্রভবের আনুষঙ্গিক অসদ্‌বিম্বের অবস্থান।

3·8. সমতল দর্পণে বিস্তৃত প্রভব-বস্তুর প্রতিবিম্ব-সংগঠন: পূর্বেই উল্লেখ করা হইয়াছে যে, একটি বিস্তৃত প্রভব-বস্তুকে কতকগুলি বিন্দুপ্রভবের সমষ্টি হিসাবে ধরা যায় স্থতরাং এই গঠনকারী বিন্দুপ্রভবগুলির প্রতিবিম্বের সমষ্টি নির্দেশ করে বিস্তৃত প্রভবের প্রতিবিম্ব। চিত্রাঙ্কনের স্থবিধার জন্য সাধারণতঃ একটি বিস্তৃত প্রভবকে একটি তীর-চিহ্নিত রেখাদ্বারা নির্দেশ করা হয় এবং এই প্রতীক-রেখার প্রান্তবিন্দুদ্বয়ের আনুষঙ্গিক প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় করিয়া উহাদের যে রেখাদ্বারা সংযোগ করা হয় তাহাকে সমগ্র প্রভবটির প্রতিবিম্বের প্রতীক ধরা হয়।

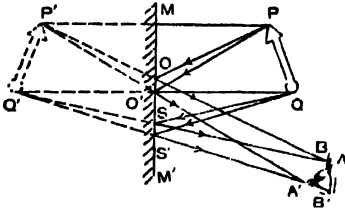
প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় (Location of the image)—3G চিত্রে MM' নির্দেশ করে খাড়াভাবে অবস্থিত একটি সমতল দর্পণের ছেদরখা। তীর-চিহ্নিত PQ রেখা নির্দেশ করে MM' দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত একটি বিস্তৃত প্রভব-বস্তু। P প্রভব-বিন্দু হইতে দর্পণতলে পাতিত অভিলম্ব পিছনের দিকে বর্ধিত কর এবং দর্পণ হইতে P-এর সমান দূরত্বে P' বিন্দু লও। ঐ P' বিন্দু নির্দেশ করে P বিন্দু-প্রভবের অসদ্‌বিম্বের অবস্থান। অনুরূপ-ভাবে চিত্রে প্রদর্শিত Q' নির্দেশ করে Q প্রান্তবিন্দুপ্রভবের অসদ্‌বিম্বের অবস্থান। স্থতরাং তীর-চিহ্নিত $P'Q'$ সংযোগ-রেখা নির্দেশ করে PQ-এর অসদ্‌বিম্বের অবস্থান।



চিত্র 3G

রশ্মিরেখা-অঙ্কনের সাহায্যে প্রতিবিম্বের সংগঠন—3H চিত্রে PQ

নির্দেশ করে MM' সমতল দর্পণের সম্মুখে অবস্থিত একটি প্রভব। উপরে বর্ণিত পদ্ধতি অনুযায়ী ঐ প্রভবটির অসদ্‌বিম্বের অবস্থান $P'Q'$ দ্বারা নির্দেশিত হইয়াছে। এখন, চিত্রে প্রদর্শিত অবস্থানে চক্ষু স্থাপন করিয়া ঐ অসদ্‌বিম্বটি দেখিলে মনে হইবে যেন $P'Q'$-এর বিভিন্ন বিন্দু হইতে বিভিন্ন সঙ্কীর্ণ রশ্মিগুচ্ছ অপসারিত হইয়া চক্ষুতে প্রবেশ করিতেছে। প্রকৃতপক্ষে ঐ রশ্মিগুচ্ছগুলি মূল প্রভব PQ-এর বিভিন্ন বিন্দু হইতে আগত প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ।

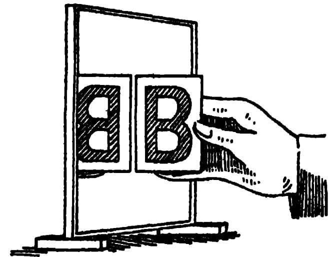


চিত্র 3H

এ-হিসাবে, $P'OA$, $P'O'A'$ রশ্মিরেখাদ্বয়ের অন্তর্বর্তী সঙ্কীর্ণ রশ্মিগুচ্ছ চক্ষুতে প্রবেশ করায়, চক্ষু P-এর অসদ্‌বিম্ব P' দেখিতে পায়। এই আপাত দৃশ্যমান রশ্মিগুচ্ছ বস্তুতঃ 'P' হইতে আগত PO এবং PO' রশ্মিরেখার অন্তর্বর্তী রশ্মিগুচ্ছের আনুষঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ। অনুরূপভাবে $Q'SB$ ও $Q'S'B'$ রশ্মিরেখার অন্তর্বর্তী রশ্মিগুচ্ছ চক্ষুতে প্রবেশ করায়, Q-এর অসদ্‌বিম্ব Q' চক্ষুতে প্রতীয়মান হয়। এই একই পদ্ধতিতে P' ও Q'-এর অন্তর্বর্তী অপরাপর অসদ্‌বিম্বগুলির সংগঠন রশ্মিরেখা-অঙ্কনে দেখানো যাইতে পারে। (ছবিটি দুর্বোধ্য হইবে বলিয়া কেবল প্রান্তবিন্দুপ্রভবদ্বয়ের অসদ্‌বিম্ব-সংগঠন দেখানো হইল।)

3·9. প্রতিবিম্বের পার্শ্বীয় উৎক্রম বা পার্শ্বীয় বিপর্যয় (Lateral inversion of an image): যখন কোন লোক সমতল দর্পণের সম্মুখে দাঁড়ায় তখন সে দেখিতে পায় দর্পণের ভিতর যেন তাহার প্রতিচ্ছবি তাহার দিকে মুখ করিয়া দাঁড়াইয়া আছে। লোকটির ডান হাত প্রতিচ্ছবির বাম হাত এবং লোকটির বাম হাত প্রতিচ্ছবির ডান হাত বলিয়া মনে হইবে। লোকটি যদি ডান হাত উপরের দিকে তোলে, তাহা হইলে মনে হইবে যেন প্রতিচ্ছবি বাম হাত তুলিতেছে। প্রতিবিম্বের এই পাশাপাশি (sideways) উল্‌টানো অবস্থানকে আমরা বলিয়া থাকি পার্শ্বীয় উৎক্রম বা পার্শ্বীয় বিপর্যয়।

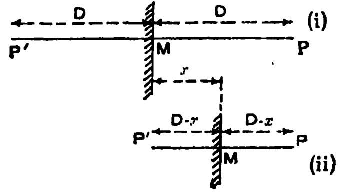
3I চিত্রে কাগজের উপর মোটা করিয়া একটি 'B' অক্ষর লিখিয়া একখানি সমতল দর্পণের সম্মুখে ধরা হইল। দর্পণে ঐ অক্ষরটির প্রতিবিম্ব পাপাপাশিভাবে উল্‌টানো অবস্থায় দেখা যায়। এই সাধারণ পরীক্ষাটি দ্বারা সমতল দর্পণে প্রতিবিম্বের পার্শ্বীয় উৎক্রম বা পার্শ্বীয় বিপর্যয় দেখানো হয়।



চিত্র 3I

3·10. সমতল দর্পণ ও প্রভবের অবস্থান সম্পর্কে বিবিধ অনুশীলনী :

(1) প্রভবের অবস্থান স্থির এবং দর্পণের অবস্থানের পরিবর্তন—3J(i) চিত্রে, P নির্দেশ করে প্রভবের অবস্থান। উহা M সমতল দর্পণ হইতে D দূরত্বে (মনে কর) অবস্থান করে। প্রভব ঠিক রাখিয়া (মনে কর) দর্পণটি প্রভবের দিকে x দূরত্বে সরানো হইল [3J(ii) চিত্র দেখ]।



চিত্র 3J

প্রথম অবস্থায়,

দর্পণ হইতে প্রভব P-এর দূরত্ব $= D$.

∴ " " প্রতিবিম্ব P'-এর দূরত্ব $= D$.

∴ প্রভব P হইতে প্রতিবিম্ব P'-এর দূরত্ব $= 2D$.

এখন দর্পণটি প্রভবের দিকে সরানোর ফলে,

দর্পণ হইতে প্রভব P-এর বর্তমান দূরত্ব $= D - x$.

∴ " " প্রতিবিম্ব P'-এর " " $= D - x$.

∴ প্রভব P হইতে প্রতিবিম্ব P'-এর বর্তমান দূরত্ব $= 2(D - x)$.

সুতরাং, দর্পণের দিকে প্রতিবিম্বের সরণ $= D - (D - x) = x$,

এবং প্রভবের দিকে প্রতিবিম্বের সরণ $= 2D - 2(D - x) = 2x$.

আবার, দর্পণটি (মনে কর) প্রভব হইতে x দূরত্বে সরানো হইল।

এক্ষেত্রে,

দর্পণ হইতে প্রতিবিম্বের দূরে সরণ $= (D + x) - D = x$;

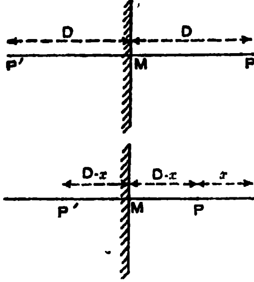
প্রভব " " " " $= 2(D + x) - 2D = 2x$.

অতএব দেখা যায় যে, প্রভবের অবস্থান ঠিক রাখিয়া সমতল দর্পণ প্রভবের দিকে বা প্রভব হইতে যে পরিমাণ দূরত্বে সরানো হয় তাহার সমদূরত্বে আনুষঙ্গিক প্রতিবিম্ব দর্পণের দিকে কিম্বা দর্পণ হইতে সরিয়া যাইবে এবং ঐ প্রতিবিম্ব দ্বিগুণ দূরত্বে প্রভবের দিকে কিম্বা প্রভব হইতে সরিয়া যাইবে।

এ-হিসাবে যখন দর্পণটি প্রভবের দিকে বা প্রভব হইতে 'v' বেগে সরানো হয়, তখন আনুষঙ্গিক প্রতিবিম্বটি '$2v$' বেগে প্রভবের দিকে বা প্রভব হইবে সরিয়া যাইবে।

(2) সমতল দর্পণের অবস্থান স্থির এবং প্রভবের অবস্থানের পরিবর্তন—3K চিত্রে দর্পণ 'M' হইতে প্রভব P-এর প্রাথমিক দূরত্ব (মনে কর) D। এখন

দর্পণটির অবস্থান স্থির রাখিয়া (মনে কর) প্রভবটিকে দর্পণের দিকে x-দূরত্বে সরানো হইল।



চিত্র 3K

এক্ষেত্রে,

দর্পণ হইতে প্রতিবিম্ব P'-এর প্রাথমিক দূরত্ব $= D$;

" " " " বর্তমান দূরত্ব $= D - x$;

প্রভব হইতে " " প্রাথমিক দূরত্ব $= 2D$;

" " " বর্তমান দূরত্ব $= 2(D - x)$।

সুতরাং, প্রতিবিম্বের দর্পণের দিকে সরণ

$$= D - (D - x) = x$$

এবং প্রতিবিম্বের প্রভবের দিকে সরণ

$$= 2D - 2(D - x) = 2x.$$

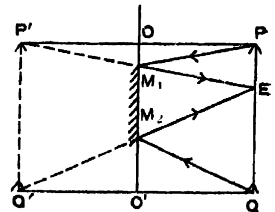
আবার যখন প্রভবটি দর্পণ হইতে x-দূরত্বে সরানো হয়, তখন উপরের বিবেচনা-দৃষ্টে—

প্রতিবিম্বের দর্পণ হইতে দূরে সরণ $= (D + x) - D = x$;

" প্রভব " " সরণ $= 2(D + x) - 2D = 2x$.

সুতরাং এক্ষেত্রেও দেখা যায়, দর্পণের অবস্থান স্থির রাখিয়া প্রভবটি দর্পণের দিকে বা দর্পণ হইতে 'v' বেগে সরানো হইলে আনুষঙ্গিক প্রতিবিম্বটি প্রভবের দিকে বা প্রভব হইতে '$2v$' বেগে সরিয়া যাইবে।

(3) খাড়াভাবে ঝুলানো সমতল দর্পণে মানুষের পূর্ণ অবয়ব সংগঠন—মনে কর, 3L চিত্রে OO' নির্দেশ করে খাড়াভাবে ঝুলানো একটি সমতল দর্পণের ছেদরেখা, PEQ নির্দেশ করে দর্পণের সম্মুখে দণ্ডায়মান মানুষ, P' নির্দেশ করে অঙ্কিত মানুষটির শীর্ষবিন্দু P-এর প্রতিবিম্ব এবং Q' নির্দেশ করে উহার পায়ের পাতা Q-এর প্রতিবিম্ব। সুতরাং $P'Q'$ নির্দেশ করে দর্পণের পিছনে সংগঠিত সমগ্র মানুষটির প্রতিবিম্ব।



চিত্র 3L

এক্ষেত্রে P শীর্ষবিন্দু হইতে আগত PM_1 রশ্মি দর্পণের M_1 বিন্দুতে আপতিত হয় এবং উহা $P'M_1E$ বরাবর প্রতিফলিত হইয়া চক্ষু E-তে প্রবেশ করে ও P' প্রতিবিম্ব দৃশ্যমান হয়। অনুরূপভাবে, QM_2 রশ্মি প্রতিফলিত হইয়া $Q'M_2E$ বরাবর চক্ষুতে প্রবেশ করে এবং Q' প্রতিবিম্ব দৃশ্যমান হয়। E হইতে আগত রশ্মি লম্বভাবে দর্পণে আপতিত হইয়া, উহা E অভিমুখে প্রত্যাবর্তন করে এবং চক্ষুর নিজের প্রতিবিম্ব

দৃশ্যমান হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে চক্ষু মানুষের সমগ্র প্রতিবিম্বটিই দেখিতে পায় এবং এই প্রতিবিম্ব-সংগঠনে দর্পণের M_1M_2 অংশ ব্যবহৃত হইয়াছে।

নিম্নে প্রমাণ করা হইল, $M_1M_2=\frac{1}{2}PQ$ (অর্থাৎ M_1M_2 দৈর্ঘ্য মানুষের উচ্চতার অর্ধেক)।

সমতল দর্পণে প্রতিবিম্ব-সংগঠন-দৃষ্টে—

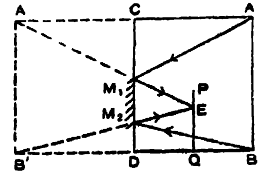
PP' রেখা O বিন্দুতে এবং QQ' রেখা O' বিন্দুতে সমদ্বিখণ্ডিত হইয়াছে। যেহেতু OO' ছেদরেখা PQ এবং $P'Q'$-এর সমান্তরাল, সুতরাং $P'E$ রেখা M_1 বিন্দুতে এবং $Q'E$ রেখা M_2 বিন্দুতে সমদ্বিখণ্ডিত হয়।

এখন $EP'Q'$ ত্রিভুজটির EP' বাহু ও EQ' বাহু M_1M_2 দ্বারা সমদ্বিখণ্ডিত এবং M_1M_2 রেখা ঐ ত্রিভুজের ভূমি $P'Q'$-এর সমান্তরাল; সুতরাং, $M_1M_2 =\frac{1}{2}P'Q'=\frac{1}{2}PQ$।

অতএব খাড়াভাবে ঝুলানো সমতল দর্পণে কোন মানুষকে তাহার পূর্ণ অবয়ব দেখিতে হইলে দর্পণের কার্যকারী অংশের দৈর্ঘ্য মানুষের উচ্চতার অর্ধেক থাকা প্রয়োজন।

(4) কোঠার মধ্যস্থলে দাঁড়ানো মানুষের সম্মুখের দেওয়ালে ঝুলানো সমতল দর্পণে পিছনের দেওয়ালে পূর্ণ প্রতিবিম্ব সন্দর্শন—3M চিত্রে, CD এবং AB নির্দেশ করে কোঠার সম্মুখের ও পিছনের দেওয়াল, M_1M_2 নির্দেশ করে সম্মুখের দেওয়ালে ঝুলানো সমতল দর্পণ, PQ নির্দেশ করে কোঠার মধ্যস্থলে মানুষের অবস্থান এবং E নির্দেশ করে মানুষের চক্ষুর অবস্থান।

চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, AB দেওয়ালের পূর্ণ অসদ্‌বিম্ব $A'B'$-এ সংগঠিত হইয়াছে। সুতরাং A' নির্দেশ করে AB দেওয়ালের A প্রান্তের অসদ্‌বিম্ব এবং B' নির্দেশ করে ঐ দেওয়ালের B প্রান্তের অসদ্‌বিম্ব।



চিত্র 3M

এখন চক্ষুতে A' প্রতিবিম্ব দৃশ্যমান হইবার জন্য A হইতে আগত AM_1 রশ্মি দর্পণের M_1 বিন্দুতে আপতিত হইয়া ঐ রশ্মি $A'M_1E$ বরাবর প্রতিফলিত হয় এবং চক্ষুতে প্রবেশ করে। অনুরূপভাবে B হইতে আগত BM_2 রশ্মি $B'M_2E$ বরাবর প্রতিফলিত হইয়া চক্ষুতে প্রবেশ করে এবং B' প্রতিবিম্ব দৃশ্যমান হয়। সুতরাং AB-এর অপরাপর বিন্দুগুলি হইতে আগত রশ্মিগুলি দর্পণের M_1 ও M_2-এর অন্তর্বর্তী স্থানে প্রতিফলিত হওয়ায় আনুষঙ্গিক বিন্দু-প্রতিবিম্বগুলি A' ও B'-এর অন্তর্বর্তী স্থানে সংগঠিত হয় এবং চক্ষু AB দেওয়ালের সমগ্র অসদ্‌বিম্বটি দেখিতে পায়।

নিম্নে প্রমাণিত হইল যে, দর্পণের কার্যকারী অংশ, $M_1M_2=\frac{1}{3}AB$।

প্রমাণ ঃ সমতল দর্পণে অসদ্‌বিম্ব-সংগঠন-দৃষ্টে,

$$B'D=BD.$$

যেহেতু Q বিন্দু BD-এর মধ্যবর্তী স্থানে অবস্থিত,

সুতরাং, $DQ=\frac{1}{3}B'Q.$

আবার, যেহেতু $B'EQ$ ত্রিভুজ-দৃষ্টে, DM_2 রেখা QE রেখার সমান্তরাল,

সুতরাং, $\frac{DQ}{B'Q}=\frac{M_2E}{B'E}=\frac{1}{3}$

অথবা, $M_2E=\frac{1}{3}B'E.$

এখন, M_1M_2 দর্পণের ছেদরেখা $A'B'$-এর সমান্তরাল,

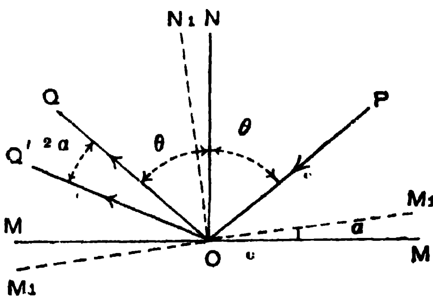
সুতরাং, $A'B'E$ ত্রিভুজ-দৃষ্টে,

$$\frac{M_1M_2}{A'B'}=\frac{M_2E}{B'E}=\frac{1}{3}$$

অথবা, $M_1M_2=\frac{1}{3}A'B'=\frac{1}{3}AB.$

অতএব, এক্ষেত্রে দর্পণের কার্যকারী অংশের দৈর্ঘ্য AB দেওয়ালের উচ্চতার এক-তৃতীয় অংশের সমান।

3·11. সমতল দর্পণের আবর্তন (Turning of a plane mirror) ঃ 3N চিত্রে, মনে কর, MOM সমতল দর্পণটির উপর আপতিত PO রশ্মির অবস্থান ঠিক রাখা হইয়াছে। অতঃপর দর্পণটিকে 'α' কোণে ঘুরাইয়া M_1OM_1 অবস্থানে আনা হইল। চিত্রের 'O' অক্ষ বেষ্টন করিয়া দর্পণটির এইপ্রকার ঘূর্ণনের ফলে PO রশ্মির আনুষঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি '2α' কোণে ঘুরিয়া যায়।



চিত্র 3N

প্রমাণ ঃ দর্পণটির প্রাথমিক অবস্থান-দৃষ্টে, ON নির্দেশ করে 'O' আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত দর্পণের অভিলম্ব, OQ নির্দেশ করে প্রতিফলিত রশ্মি এবং 'θ' নির্দেশ করে আপতন-কোণ = প্রতিফলন-কোণ; আবার দর্পণটির পরবর্তী অবস্থান-দৃষ্টে, ON_1 নির্দেশ করে বর্তমান অবস্থানে 'O' বিন্দুতে

অঙ্কিত দর্পণের অভিলম্ব এবং OQ' নির্দেশ করে আনুষঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মির বর্তমান অবস্থান।

চিত্রদৃষ্টে,

$$\angle POQ = \angle PON + \angle QON = \theta + \theta = 2\theta;$$
$$\angle POQ' = \angle PON_1 + \angle Q'ON_1 = (\theta + a) + (\theta + a) = 2(\theta + a).$$

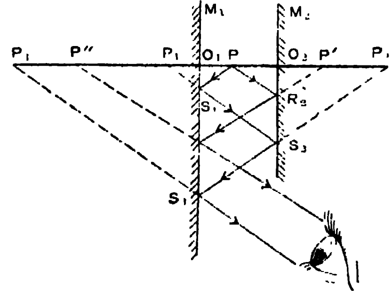
প্রতিফলিত রশ্মির ঘূর্ণন $= \angle QOQ' = \angle POQ' - \angle POQ = 2(\theta + a) - 2\theta = 2a.$

সুতরাং দেখা যায়, আপতিত রশ্মির অবস্থান ঠিক রাখিয়া সমতল দর্পণ যখন 'a' কোণে আবর্তিত হয়, তখন আনুষঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি '$2a$' কোণে আবর্তন করে।

সমতল দর্পণের এই ঘূর্ণন-নীতি কার্যকারীভাবে Mirror Galvanometer নামক যন্ত্রে প্রযোগ করা হইয়াছে।

3·12. বিভিন্ন অবস্থানে দুইটি সমতল দর্পণে আলোকের পর পর প্রতিফলন এবং একাধিক প্রতিবিম্ব সংগঠন :

(1) দর্পণ দুইটি মুখামুখি সমান্তরালে বসানো এবং উহাদের অন্তর্বর্তী স্থানে প্রভব স্থাপিত—3P চিত্রে, (মনে কর) M_1 ও M_2 খাড়াভাবে অবস্থিত দুইটি সমতল দর্পণ এবং P একটি প্রভব দেখানো হইয়াছে। দর্পণের প্রতিফলন-তল দুইটির যে-কোন একটির দিকে তাকাইলে দেখা যায়, প্রভবের অগণিত প্রতিবিম্ব সংগঠিত হইয়াছে এবং উহারা পর পর প্রভবটির সহিত একই রেখায় অবস্থান করিতেছে।



চিত্র 3P

এক্ষেত্রে P হইতে আগত রশ্মি-গুচ্ছ M_1 দর্পণতলে প্রথম আপতিত হইয়া পর পর দর্পণ দুইটির তলে প্রতিফলিত হওয়ায় যে অসদ্‌বিম্বগুলি সংগঠিত হয়, তাহারা P_1, P_2, P_3 ইত্যাদির দ্বারা নির্দেশিত হইয়াছে এবং P হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ M_2 দর্পণতলে প্রথম আপতিত হইয়া পর পর প্রতিফলনে যেসমস্ত অসদ্‌বিম্ব সংগঠিত হয় তাহারা P', P'' ইত্যাদির দ্বারা নির্দেশিত হইয়াছে।

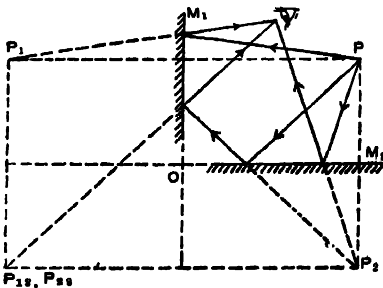
P-এর অসদ্‌বিম্বগুলির অবস্থান নির্ধারণ—P হইতে একটি অভিলম্ব রেখা উভয় দর্পণতলে পাতিত করিয়া উহা উভয় দিকে বর্ধিত কর। এই রেখা O_1 ও O_2

বিন্দুতে দর্পণ দুইটিকে ছেদ করে (চিত্র দেখ)। এখন M_1 দর্পণের পিছনে ঐ রেখার উপর P-এর সমান দূরত্বে P_1 বিন্দু লও। সমতল দর্পণে প্রতিবিম্বের অবস্থান-দৃষ্টে, এই বিন্দু নির্দেশ করে M_1 দর্পণে P-এর অসদ্‌বিম্ব। এখন P_1 যদিও M_1-এর পিছনে, কিন্তু উহা M_2-এর সম্মুখে অবস্থান করে। সুতরাং M_2 দর্পণের পিছনে P_1-এর সমান দূরত্বে P_2 বিন্দু নির্দেশ করে M_2 দর্পণে P_1-এর অসদ্‌বিম্ব। আবার, P_2 যদিও M_2-এর পিছনে, কিন্তু উহা M_1-এর সম্মুখে অবস্থান করে। সুতরাং M_1-এর পিছনে P_2-এর সমান দূরত্বে P_3 বিন্দু নির্দেশ করে M_1 দর্পণে P_2-এর অসদ্‌বিম্ব।

অনুরূপ পদ্ধতি অনুসরণ করিয়া P', P'' ইত্যাদি অসদ্‌বিম্বগুলির অবস্থান নির্ধারণ করা হয়।

রশ্মিরেখা-অঙ্কনে প্রতিবিম্বগুলির সংগঠন—চিত্রে P হইতে আগত PS_1 রশ্মিগুচ্ছ (একটি রেখা দ্বারা রশ্মিগুচ্ছ দেখানো হইয়াছে) M_1 দর্পণে প্রথম আপতিত হইয়া $P_1S_1S_2$ বরাবর প্রতিফলিত হয় এবং উহা P_1 প্রতিবিম্ব সংগঠন করে। ঐ রশ্মিগুচ্ছ M_2 দর্পণে আপতিত হইয়া $P_2S_2S_3$ বরাবর প্রতিফলিত হইয়া P_2 প্রতিবিম্ব সংগঠন করে। ঐ রশ্মিগুচ্ছ পুনরায় M_1 দর্পণে P_3S_3 বরাবর প্রতিফলিত হইয়া P_3 প্রতিবিম্ব সংগঠন করে এবং এইরূপে PS_1 রশ্মিগুচ্ছের পর পর প্রতিফলন চলিতে থাকে। অনুরূপভাবে P হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ M_2 দর্পণে প্রথম আপতিত হইয়া উহার পর পর প্রতিফলনে P', P'', P''' ইত্যাদি প্রতিবিম্বগুলির সংগঠন করে।

(2) দর্পণ দুইটি মুখামুখি সমকোণে বসানো এবং উহাদের অন্তর্বর্তী স্থানে প্রভব স্থাপিত—3Q চিত্রে, M_1 ও M_2 সমকোণে অবস্থিত দুইটি সমতল দর্পণ। এই দর্পণ দুইটির ছেদরেখা O বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। P উহাদের অন্তর্বর্তী স্থানে অবস্থিত প্রভব।



চিত্র 3Q

এক্ষেত্রে P-এর চারিটি অসদ্‌বিম্ব সংগঠিত হয়, কিন্তু শেষের দুইটি একই অবস্থানে সংগঠিত হওয়ার ফলে, চিত্রে প্রদর্শিত P_1, P_2 এবং P_{12} (অথবা P_{21}) প্রতিবিম্ব তিনটি চক্ষুতে দেখা যায়।

প্রতিবিম্বগুলির অবস্থান নির্ধারণ—P হইতে M_1 দর্পণের ছেদরেখার উপর অভিলম্ব অঙ্কিত কর এবং উহা দর্পণের পিছনে বর্ধিত করিয়া উহার উপর P-এর সমান দূরত্বে P_1 বিন্দু লও। এই বিন্দু নির্দেশ করে M_1 দর্পণে P-এর অসদ্‌বিম্ব। এখন M_1-এর পিছনের এই P_1 অসদ্‌বিম্বটি M_2 দর্পণের সম্মুখে অবস্থান করায়, উহাকে প্রভব হিসাবে গণ্য করিয়া পূর্ববর্ণিত পদ্ধতিতে M_2 দর্পণে P_1-এর প্রতিবিম্ব P_{12}

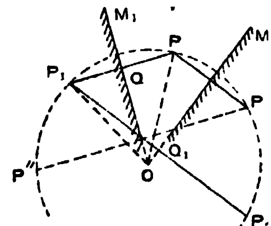
নির্ধারণ কর। যেহেতু P_{12} উভয় দর্পণের পিছনে অবস্থান করে, সুতরাং উহার আর প্রতিবিম্ব-সংগঠন সম্ভব হয় না। অনুরূপভাবে M_2 দর্পণে P প্রভবের অসদ্‌বিম্ব P_2-এর অবস্থান এবং M_1 দর্পণে P_2-এর প্রতিবিম্ব P_{22}-এর অবস্থান নির্ণয় কর P_{22} উভয় দর্পণে পিছনে অবস্থান করায় উহার আর প্রতিবিম্ব-সংগঠন সম্ভব হয় না। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, P_{12} এবং P_{22} একই অবস্থানে থাকে। সুতরাং চক্ষুতে P-এর তিনটি অসদ্‌বিম্ব দেখা যাইবে।

রশ্মিরেখা-অঙ্কনে প্রতিবিম্ব-সংগঠন—চিত্র স্পষ্ট রাখিবার জন্য একটি রেখা দ্বারা একগুচ্ছ রশ্মি দেখানো হইয়াছে। এখন, P হইতে আগত রশ্মিরেখা M_1 দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া চক্ষুতে সরাসরি প্রবেশ করিলে উহা M_1 দর্পণে P-এর অসদ্‌বিম্ব P_1 সংগঠন করে। চক্ষুর বর্তমান অবস্থান হিসাবে P_{12} অসদ্‌বিম্বটি পরিলক্ষিত হইবে না। অতঃপর P হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছের কতক অংশ M_2 দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া সরাসরি চক্ষুতে প্রবেশ করে এবং P_2 প্রতিবিম্বটি সংগঠন করে। M_2 দর্পণে আপতিত রশ্মিগুচ্ছের যে অংশ প্রতিফলিত হইয়া M_1 দর্পণে আপতিত হয়, উহা পুনরায় প্রতিফলিত হইয়া চক্ষুতে প্রবেশ করে এবং P_{22} অসদ্‌বিম্বটি দৃশ্যমান হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে চক্ষু P_1, P_2 এবং P_{22} অসদ্‌বিম্ব তিনটি দেখিতে পায়।

সমতল দর্পণে প্রতিবিম্বের অবস্থানের আলোচনা হিসাবে—PP_1 রেখা M_1 দর্পণের ছেদরেখা দ্বারা সমকোণে সমদ্বিখণ্ডিত হয়, সুতরাং $OP=OP_1$; PP_2 রেখা M_2 দর্পণের ছেদরেখা দ্বারা সমকোণে সমদ্বিখণ্ডিত হয়, সুতরাং $OP=OP_2$ ইত্যাদি।

সুতরাং দেখা যায়, এক্ষেত্রে, প্রভব এবং উহার অসদ্‌বিম্ব কয়টি একই বৃত্তের উপর অবস্থান করে। এই বৃত্তের কেন্দ্র এবং ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 'O' এবং OP দ্বারা নির্দেশিত হয়।

(3) সমতল দর্পণ দুইটির যে-কোন কোণে অবস্থানে প্রভবের প্রতিবিম্ব-সংগঠন—দুইটি সমতল দর্পণ যে-কোন কোণে খাড়াভাবে মুখামুখি স্থাপন করিয়া উহাদের অভ্যন্তরে একটি জলন্ত মোমবাতি রাখ। দর্পণতলে তাকাইলে দেখিতে পাইবে বাতিটিসহ উহার প্রতিবিম্বগুলি বৃত্তাকারে অবস্থান করিতেছে। 3·12 (2) অনুচ্ছেদের আলোচনা অনুযায়ী, এক্ষেত্রেও (3R চিত্র দেখ), P_1, P_2 ইত্যাদি নির্দেশ করে M_1 দর্পণে P-এর প্রথম আপতিত রশ্মিগুচ্ছের পর পর প্রতিফলনজনিত অসদ্‌বিম্ব এবং P', P'' ইত্যাদি নির্দেশ করে M_2 দর্পণে P-এর প্রথম আপতিত রশ্মিগুচ্ছের পর পর প্রতিফলনজনিত অসদ্‌বিম্ব।



চিত্র 3R

সমতল দর্পণে প্রতিবিম্ব-সংগঠন হিসাবে—$P P_1$ রেখা M_1 দর্পণের ছেদরেখা দ্বারা সমকোণে সমদ্বিখণ্ডিত। সুতরাং, $OP_1 = OP$।

PP' রেখা M_2 দর্পণের ছেদরেখা দ্বারা সমকোণে সমদ্বিখণ্ডিত,

সুতরাং, $OP' = OP$ ইত্যাদি।

অতএব, $OP = OP_1 = OP'$ ইত্যাদি।

সুতরাং, P-এর অসদ্‌বিম্বগুলি একই বৃত্তে অবস্থান করে এবং ঐ বৃত্তের কেন্দ্র 'O' এবং ব্যাসার্ধ OP (চিত্র দেখ)।

দর্পণ দুইটির যে-কোন কোণে অবস্থানের ফলে, ইহাও পরিলক্ষিত হয় যে, উহার অন্তর্বর্তী কোণ যত কমানো হয়, প্রতিবিম্বের সংখ্যা তত বৃদ্ধি পায় এবং ঐ কোণ যত বাড়ানো হয়, প্রতিবিম্বের সংখ্যা তত কমিতে থাকে। বর্তমান-আলোচিত ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব-সংগঠনের সংখ্যা নিম্নলিখিত ফরমূলার সাহায্যে নির্ধারণ করা হয়।

প্রতিবিম্বের সংখ্যা $= \left(\frac{360}{\theta} - 1\right)$ [এক্ষেত্রে, 'θ' দর্পণ দুইটির অন্তর্বর্তী কোণ]

সুতরাং, যখন $\theta = 90°$, প্রতিবিম্বের সংখ্যা $= (\frac{360}{90} - 1) = 3$;

যখন $\theta = 60°$, প্রতিবিম্বের সংখ্যা $= (\frac{360}{60} - 1) = 5$;

যখন $\theta = 45°$, প্রতিবিম্বের সংখ্যা $= (\frac{360}{45} - 1) = 7$.

এ-হিসাবে, যখন $\theta = 0°$, অর্থাৎ দর্পণ দুইটি সমান্তরাল, প্রতিবিম্বের সংখ্যা $= (\frac{360}{0} - 1) =$ অসংখ্য।

যদি θ দ্বারা 360° পূর্ণ বিভাজ্য না হয়, তাহা হইলে $\left(\frac{360}{\theta} - 1\right)$-এর কাছাকাছি পূর্ণসংখ্যা নির্দেশ করে দৃশ্যমান প্রতিবিম্বের সংখ্যা।

3·13. পরস্পর আনত দুইটি সমতল দর্পণে আলোক-রশ্মির পর পর দুইবার প্রতিফলনে উহার মোট বিচ্যুতি নির্ণয় :

3S চিত্রে, M_1 এবং M_2 দর্পণ দুইটি θ কোণে অবস্থিত। PO রশ্মি M_1 দর্পণের O বিন্দুতে আপতিত হইয়া OO' অভিমুখে প্রতিফলিত হইয়াছে। সুতরাং ঐ রশ্মির প্রথম প্রতিফলনে বিচ্যুতির পরিমাণ,

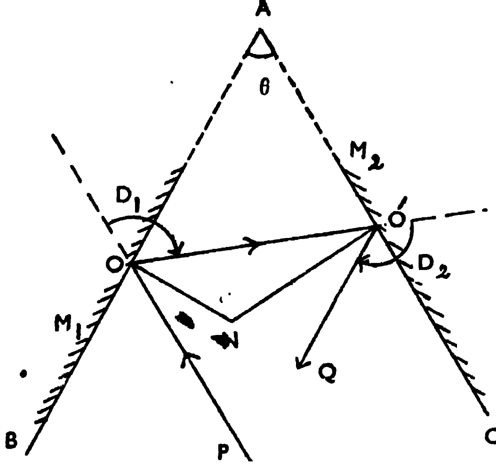
$D_1 = \pi - (\angle PON + \angle O'ON)$ [$\because$ ON অভিলম্ব O বিন্দুতে অঙ্কিত]

$= \pi - 2(\angle O'ON)$ [প্রতিফলনের সূত্র অনুযায়ী]

এখন, OO' প্রতিফলিত রশ্মি M_2 দর্পণের O' বিন্দুতে আপতিত হইয়া $O'Q$ অভিমুখে পুনরায় প্রতিফলিত হয়। সুতরাং, OO' রশ্মির প্রতিফলনে বিচ্যুতির পরিমাণ,

$D_2 = \pi - (\angle OO'N + \angle QO'N)$ [$\because$ O' বিন্দুতে $O'N$ অভিলম্ব অঙ্কিত]

$= \pi - 2(\angle OO'N)$ [প্রতিফলনের সূত্র অনুযায়ী]



চিত্র 3S

সুতরাং, পর পর দুইবার PO রশ্মির প্রতিফলনে মোট বিচ্যুতির পরিমাণ,

$D = D_1 + D_2 = 2\pi - 2(\angle O'ON + \angle OO'N)$.

এখন, $OO'N$ ত্রিভুজ-দৃষ্টে, $\angle NOO' + \angle OO'N + \angle ONO' = \pi$ এবং $AONO'$ চতুর্ভুজ-দৃষ্টে, যেহেতু $\angle AON$ এবং $\angle AO'N$ প্রত্যেকটি সমকোণ, সুতরাং, $\angle ONO' + \theta = \pi$; এ-হিসাবে, $\theta = \angle O'ON + \angle OO'N$.

সুতরাং, $D = 2\pi - 2(\angle O'ON + \angle OO'N) = 2\pi - 2\theta$.

আনুষঙ্গিক অনুশীলনী—

(i) M_1 দর্পণ অনুভূমিক। PO রশ্মি ঐ দর্পণে 45° কোণে আপতিত এবং M_2 দর্পণে প্রতিফলিত $O'Q$ রশ্মি M_1-এর সমান্তরাল। M_1 ও M_2-এর অন্তর্বর্তী কোণের (θ) পরিমাণ নির্ণয় কর।

এখন 3S চিত্রদৃষ্টে, এক্ষেত্রে, $\angle BOP = 45°$,

সুতরাং, $\angle PON = 45° = \angle O'ON$ [$\because$ আপতন-কোণ = প্রতিফলন-কোণ]।

এখন, মনে কর, M_2 দর্পণ M_1-এর সহিত θ কোণে অবস্থান করে। যেহেতু $O'Q$ রশ্মি M_1-এর সমান্তরাল, সুতরাং $\angle CO'Q = \theta$,

এ-হিসাবে, $\angle NO'Q = 90 - \theta = \angle OO'N$.

অতএব, 3·13 অনুচ্ছেদ অনুযায়ী,

$$\theta = \angle O'ON + \angle OO'N$$
$$= 45 + 90 - \theta$$

অথবা, $2\theta = 135$,

সুতরাং, $\theta = 67° \ 30'$.

(ii) M_1 দর্পণে আপতিত PO রশ্মি M_2-এর সমান্তরাল এবং M_2 দর্পণে প্রতিফলিত $O'Q$ রশ্মি M_1-এর সমান্তরাল। M_1 ও M_2-এর অন্তর্বর্তী কোণের পরিমাণ নির্ণয় কর।

মনে কর, এই কোণ θ। এখন 3S চিত্রদৃষ্টে, যেহেতু PO রেখা M_2-এর সমান্তরাল, সুতরাং $\angle BOP = \theta$ এবং $\angle PON = 90 - \theta = \angle O'ON$.

যেহেতু $O'Q$ রেখা M_1-এর সমান্তরাল, সুতরাং $\angle CO'Q = \theta$,

এ-হিসাবে, $\angle NO'Q = 90 - \theta = \angle OO'N$.

3·13 অনুচ্ছেদ অনুযায়ী, $\theta = \angle O'ON + \angle OO'N = 90 - \theta + 90 - \theta$

$$= 180 - 2\theta.$$

সুতরাং, $3\theta = 180$.

অতএব $\theta = 60°$.

3·14. একাধিক সমতল দর্পণে আলোকের পর পর প্রতিফলনের ব্যবহারিক প্রয়োগ :

(ক) **ক্যালাইডোস্কোপ** (Kaleidoscope)—এই সহজ খেলনাটি বিজ্ঞানী ব্রুস্টার (Brewster) দ্বারা উদ্ভাবিত হইয়াছে। সমতল দর্পণের পরস্পর আনতভাবে অবস্থানের ফলে কোন প্রভবের একাধিক প্রতিবিম্ব-সংগঠনের নীতির উপর ভিত্তি করিয়া এই খেলনাটি তৈয়ারি করা হয়।

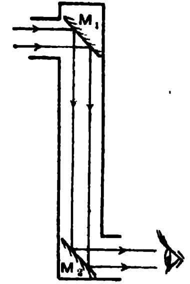
গঠন-পদ্ধতি—দুইমুখ-খোলা একটি চোঙের এক মুখের কাছে তিনখানা সমতল দর্পণ পরস্পর 60° কোণে বসানো হয়। দর্পণ তিনটির এই সংস্থাপনের যে প্রান্ত চোঙের যে দিকের খোলা মুখের কাছে অবস্থিত উহা পাতলা কাচের চাকৃতি দ্বারা বন্ধ করিয়া এই চাকৃতির সম্মুখে কয়েক টুকরা রঙীন কাচ রাখা হয় এবং শেষে চোঙের এই খোলামুখ একটি ঘষা-কাচের চাকৃতি দ্বারা বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়।

এমতাবস্থায় চোঙের অপর মুখ সাদা কাগজ দ্বারা বন্ধ করিয়া উহার মধ্যস্থলে অবস্থিত ছিদ্রপথে চক্ষু স্থাপন করিলে চোঙের মধ্যে বিভিন্ন রকমের সুন্দর সুন্দর নক্শা দেখা যায়।

ব্যাখ্যা—দর্পণ তিনটি পরস্পর 60° কোণে অবস্থিত। সুতরাং চোঙের প্রতি অবস্থানেই প্রতিটি রঙীন কাচের টুকরার পাঁচটি করিয়া অসদ্‌বিম্ব সংগঠিত হয় এবং রঙীন কাচের টুকরা সহ এই প্রতিবিম্বগুলি একটি ষড়্‌ভুজের শীর্ষবিন্দুগুলিতে অবস্থান করায় বিচিত্র নক্শার সৃষ্টি হইয়া থাকে।

(খ) **সরল পেরিস্কোপ** (Simple Periscope)—এই উদ্ভাবনীটি সাবমেরিনে ব্যবহৃত পেরিস্কোপ যন্ত্রের অনুকল্প হিসাবে পরিগণিত হইয়া থাকে। অনেকসময় ক্রীড়ামোদীরা দূর হইতে ফুটবল খেলা ইত্যাদি দেখিবার জন্য হাতে-তৈয়ারী এই সহজ যন্ত্রটি ব্যবহার করিয়া থাকে।

3T চিত্র অনুযায়ী দেখা যায়, খাড়াভাবে অবস্থিত একটি চোঙের দুই প্রান্তে দুইখানি সমতল দর্পণ মুখামুখিভাবে সমান্তরালে বসানো আছে। উহাদের প্রত্যেকটি চোঙের অক্ষের সহিত 45° কোণে আনত রাখা হয়।



চিত্র 3T

দূরে অবস্থিত বস্তু হইতে আগত সমান্তরাল অনুভূমিক রশ্মিগুচ্ছ M_1 দর্পণে আপতিত হইয়া চোঙের অক্ষ বরাবর নীচের দিকে প্রতিফলিত হয় এবং ঐ প্রতিফলিত রশ্মি M_2 দর্পণে আপতিত হইয়া পুনরায় অনুভূমিক রেখায় প্রতিফলিত হইয়া চক্ষুতে প্রবেশ করে। সুতরাং, দূরের মাঠের খেলা আমাদের দৃষ্টিগোচর হয়।

সারাংশ

প্রতিফলকের তল অমসৃণ হইলে, আলোকরশ্মির বিক্ষিপ্ত বা অনিয়মিত প্রতিফলন সংঘটিত হয়। এই বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনের সাহায্যে আমাদের চতুষ্পার্শ্বের বস্তুসমূহ দৃষ্টিগোচর হয়। প্রতিফলকের তল মসৃণ হইলে আলোকরশ্মির নিয়মিত প্রতিফলন সংঘটিত হয়। নিয়মিত প্রতিফলনে দুইটি নিয়ম বা সূত্র অনুসৃত হইয়া থাকে। যথা—(১) আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং আপতন-বিন্দুতে অঙ্কিত প্রতিফলক-তলে অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে; (২) আপতন-কোণ আনুষঙ্গিক প্রতিফলন-কোণের সমান। হার্টল-এর আলোক-চাকৃতি এবং পিন-পদ্ধতির সাহায্যে সূত্র দুইটির সত্যতা নির্ণয় করা যায়।

প্রতিবিম্বের সংজ্ঞা—কোন বিন্দুপ্রভব হইতে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ কোন তলে

প্রতিফলিত কিম্বা প্রতিসৃত হইয়া অপর একটি বিন্দুতে মিলিত হইলে কিম্বা অপর একটি বিন্দু হইতে যেন আসিতেছে বলিয়া প্রতীয়মান হইলে, ঐ দ্বিতীয় বিন্দুটিকে বলা হয় প্রভবের প্রতিবিম্ব। প্রথম ক্ষেত্রে ঐ বিন্দুটিকে বলা হয় বিন্দুপ্রভবের সদ্‌বিম্ব এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে উহা প্রভবটির অসদ্‌বিম্ব।

সমতল দর্পণে আলোকের প্রতিফলনে দর্পণের পিছনে অসদ্‌বিম্ব সংগঠিত হয় এবং প্রভব ও প্রতিবিম্ব দর্পণতলের সমদূরত্বে অবস্থান করে। দুইটি সমতল দর্পণে আলোক-রশ্মির পর পর প্রতিফলনে অগণিত অসদ্‌বিম্ব সংগঠিত হয়। দুইটি আনত দর্পণে একাধিক প্রতিবিম্ব সংগঠিত হয় এবং প্রতিবিম্বের সংখ্যা সহজভাবে $\left(\frac{360}{\theta}-1\right)$ ফরমূলার সাহায্যে নির্ধারিত হইয়া থাকে। আপতিত রশ্মির অবস্থান ঠিক রাখিয়া সমতল দর্পণটি 'a' কোণে ঘুরাইলে প্রতিফলিত রশ্মি '$2a$' কোণে ঘুরিয়া যায়।

প্রশ্নমালা

1. আলোকরশ্মির প্রতিফলনের সূত্রগুলি বিবৃত কর এবং পরীক্ষার দ্বার উহাদের সত্যতা কিভাবে নির্ধারিত হয় তাহা বর্ণনা কর। [State the laws of reflection of light and describe how they may be verified experimentally.]

2. কোন আলোকপ্রভবের প্রতিবিম্ব বলিতে কি বোঝ? সদ্‌বিম্ব এবং অসদ্‌বিম্বের মধ্যে পার্থক্য কি? [What is meant by the image of an object? Distinguish between real and virtual images.]

3. আলোকের প্রতিফলনের সূত্রগুলি বিবৃত কর। চিত্রাঙ্কনের সাহায্যে দেখাও, যে-কোন বিন্দুপ্রভব হইতে আগত রশ্মিগুলি সমতল দর্পণে আপতিত হইয়া প্রতিফলিত হইলে, উহা অপর একটি বিন্দু হইতে অপসারিত হইতেছে বলিয়া মনে হয়। এই বিন্দুটিকে কি বলা হয়? উহার অবস্থান এবং প্রকৃতি নির্দেশ কর। [State the laws of reflection of light. Show that the rays from a luminous point falling upon a plane mirror proceed, after reflection, as though they diverge from a single point. What is that point called? What is its position and nature?] [H. S. Exam., 1960]

4. চিত্রাঙ্কনের সাহায্যে দেখাও কিরূপে একটি সমতল দর্পণে প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হয় এবং প্রমাণ কর আলোকপ্রভবটি দর্পণের সম্মুখে যতদূরে অবস্থান করে, উহার প্রতিবিম্বটিও দর্পণের পিছনে ঠিক ততদূরে অবস্থিত থাকে। [Draw a diagram showing how an image is formed in a plane mirror and prove that

the image is as far behind the mirror as the object is in front of it.]

5. একটুকরা সমতল দর্পণ, পিন এবং ছবি আঁকিবার কাগজ ইত্যাদি সরঞ্জাম তোমাকে দেওয়া হইল। কি প্রকারে পরীক্ষার সাহায্যে তুমি প্রমাণ করিবে, যে-কোন অবস্থানেই চক্ষু রাখা হউক না কেন, নির্দিষ্ট স্থানে অবস্থিত কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব একই স্থানে অবস্থান করে। [You are provided with a strip of plane mirror, some pins and drawing materials. How would you prove experimentally that the image of a fixed object remains in the same spot, whatever may be the position of your eye ?]

6. নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের অবস্থান বুঝাইয়া দাও :—

(i) প্রভব-বস্তুর অবস্থান ঠিক রাখিয়া সমতল দর্পণটিকে প্রভব-বস্তুর দিকে x পরিমাণ দূরত্বে সরাইয়া আনা হইলে ;

(ii) প্রভব-বস্তুর অবস্থান ঠিক রাখিয়া দর্পণটিকে প্রভব-বস্তুর দিকে v বেগে সরাইয়া আনা হইলে ;

(iii) দর্পণটির অবস্থান ঠিক রাখিয়া প্রভব-বস্তুটিকে v বেগে দর্পণের দিকে সরাইয়া আনা হইলে।

[State what happens with the image in the following cases :—

(i) Object remaining fixed, the mirror approaches it through a distance 'x' ;

(ii) Object remaining fixed, mirror approaches the object with a speed 'v' ;

(iii) Mirror remaining fixed, source approaches the object with a speed 'v'.

7. একটি লোক দর্পণের দিকে প্রতি সেকেণ্ডে 5 ft. বেগে দৌড়াইয়া আসিলে দেখা যায় যে, সে তাহার প্রতিবিম্বের দিকে যেন 10 ft. বেগে অগ্রসর হইতেছে। ইহার কারণ বুঝাইয়া দাও। [A man running towards a plane mirror at the rate of 5 ft./sec. seems to approach his image at the rate of 10 ft./sec. Explain it.]

8. চিত্রাঙ্কনের সাহায্যে দেখাও যে, খাড়াভাবে অবস্থিত একটি সমতল দর্পণের সাহায্যে কোন মানুষের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে হইলে দর্পণের দৈর্ঘ্য কমপক্ষে মানুষের অর্ধেক হওয়া প্রয়োজন। [Show by means of a diagram that a man can

see the whole of his person in a vertical plane mirror, the length of which is half his own height.]

9. দুইটি সমতল দর্পণের অন্তর্বর্তী স্থানে একটি জলন্ত মোমবাতি রাখা হইলে নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে জলন্ত মোমবাতির একাধিক প্রতিবিম্ব কিভাবে সংগঠিত হয় তাহা বুঝাইয়া দাও :—

(i) দর্পণ দুইটি সমান্তরালে অবস্থিত ;

(ii) দর্পণ দুইটি সমকোণে আনত ;

(iii) দর্পণ দুইটি 60° কোণে আনত।

[A lighted candle is held between two plane mirrors. Explain the formation of multiple images in the following cases :—

(i) Mirrors held parallel to each other ;

(ii) Mirrors held at right angles to each other ;

(iii) Mirrors inclined to each other at 60°.]

10. একটি সমতল দর্পণ যখন কোন নির্দিষ্ট কোণে আবর্তিত হয় তখন প্রমাণ কর যে, আনুষঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি উহার দ্বিগুণ কোণে আবর্তন করিবে। [When a plane mirror is rotated through a given angle show that a ray reflected therefrom is turned through an angle twice as much.]

[H. S. Exam., 1960]

11. চিত্রাঙ্কনের সাহায্যে একটি সরল পেরিস্কোপের বর্ণনা কর। [Describe with a suitable sketch a simple form of Periscope.]

12. (i) পরস্পর আনত দুইটি সমতল দর্পণে একটি আলোকরশ্মির পর পর দুইবার প্রতিফলনে উহার মোট বিচ্যুতি নির্ণয় কর। [Deduce an expression for the angle of deviation of a ray due to two successive reflections at two inclined mirrors.]

(ii) একটি অনুভূমিক সমতল দর্পণে 45° কোণে আপতিত আলোকরশ্মি প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় দ্বিতীয় একটি দর্পণ হইতে অনুভূমিকভাবে প্রতিফলিত হইলে, এই দ্বিতীয় দর্পণটি কিভাবে স্থাপন করিতে হইবে, দেখাও। [Rays of light strike a horizontal plane mirror at an angle of 45°. Show how you would arrange a second mirror in order that the reflected ray may finally be reflected from the second mirror horizontally.]

[Engineering Entrance Examination, 1964]

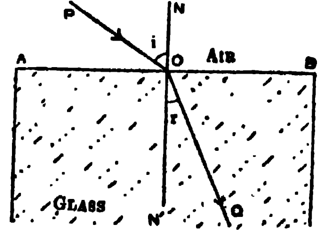
চতুর্থ পরিচ্ছেদ

সমতলে আলোকের প্রতিসরণ

4·1. আলোকের প্রতিসরণের অর্থ (Meaning of Refraction of light) : আলোকরশ্মি সরল পথে এক মাধ্যমে চলিবার পথে যখন অপর একটি মাধ্যমে আসিয়া পৌছায়, তখন ঐ রশ্মি দ্বিতীয় মাধ্যমে ভিন্ন পথে সরলরেখায় গমন করে। মাধ্যম পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে আলোকরশ্মির এই পরিবর্তিত দিকে গমন-করাকে বলা হয় **আলোকের প্রতিসরণ।**

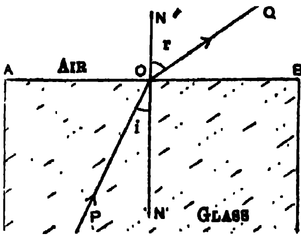
4A(i) চিত্রে, বাতাসের মধ্য দিয়া চালিত PO রশ্মি AB বিভাগ-তলের 'O' বিন্দুতে আপতিত হইয়া কাচের মধ্যে OQ অভিমুখে প্রতিসৃত হইয়াছে।

4A(ii) চিত্রে, কাচের মধ্য দিয়া চালিত PO রশ্মি AB বিভাগ-তলের 'O' বিন্দুতে আপতিত হইয়া বাতাসের মধ্যে OQ অভিমুখে প্রতিসৃত হইয়াছে।



চিত্র 4A(i)

উভয় ক্ষেত্রেই—



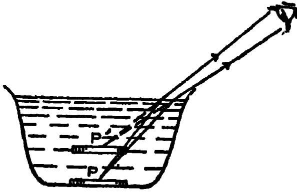
চিত্র 4A(ii)

PO নির্দেশ করে আপতিত রশ্মি,
OQ „ „ প্রতিসৃত রশ্মি,
NON' „ „ আপতন-বিন্দুতে অঙ্কিত বিভাগ-তলের অভিলম্ব,
$\angle PON$ „ „ আপতন-কোণ 'i',
$\angle QON'$ „ প্রতিসরণ-কোণ 'r'।

প্রথম ক্ষেত্রে, আলোকরশ্মি লঘুতর মাধ্যম (যেমন—বাতাস) হইতে ঘনতর মাধ্যমে (যেমন—কাচে) প্রতিসৃত হওয়ায় আনুষঙ্গিক প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায়। সুতরাং, আপতন-কোণ 'i' আনুষঙ্গিক প্রতিসরণ-কোণ 'r' অপেক্ষা বড়। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, আলোকরশ্মি ঘনতর মাধ্যম (যেমন—কাচ) হইতে লঘুতর মাধ্যমে (যেমন—বাতাসে) প্রতিসৃত হওয়ায় আনুষঙ্গিক প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে বাঁকিয়া যায়। সুতরাং, আপতন-কোণ 'i' আনুষঙ্গিক প্রতিসরণ-কোণ 'r' অপেক্ষা ছোট।

4·2. সমতলে আলোকের প্রতিসরণের সাধারণ পরীক্ষা ঃ

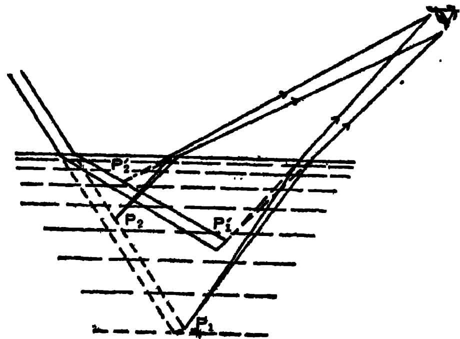
(i) **জলে নিমজ্জিত মুদ্রার আপাত-উত্থান** (Apparent rise of a coin in water)—4B চিত্র অনুযায়ী একটি চীনামাটির বাটির (Porcelain basin) তলায় একটি পয়সা রাখ। এখন বাটির বাহিরে এমনভাবে চক্ষু স্থাপন কর যাহাতে পয়সাটি কেবলমাত্র দৃষ্টির বাহিরে আসে। এমতাবস্থায় বাটিতে জল ঢালিতে থাক। যখন জলের তল বাটির প্রায় কানায় পৌঁছায়, তখন পয়সাটি দেখা যাইবে। এক্ষেত্রে মনে হয়, পয়সা যেন জলে ভাসিয়া উঠিয়াছে। কিন্তু ইহা সম্ভব নহে, কারণ পয়সা জল অপেক্ষা ভারী। সুতরাং এক্ষেত্রে, পয়সা হইতে আগত আলোকরশ্মিগুচ্ছ জল হইতে বাতাসে প্রতিসৃত হওয়ায় পয়সাটির আপত-উত্থান পরিলক্ষিত হয়। চক্ষু বস্তুতঃ পয়সাটি দেখে না, চক্ষু দেখে আলোকের প্রতিসরণ-জনিত পয়সার অসদ্‌বিম্ব।



চিত্র 4B

চিত্রে, পয়সার P বিন্দু হইতে আগত অপসারী রশ্মিগুচ্ছ জল হইতে বাতাসে প্রতিসৃত হওয়ায় উহা বিভাগ-তলের অভিলম্ব হইতে দূরে বাঁকিয়া যাইয়া চক্ষুতে প্রবেশ করে। সুতরাং, মনে হয় ঐ রশ্মিগুচ্ছ যেন P' বিন্দু হইতে আসিতেছে। এই P' বিন্দুই নির্দেশ করে P-এর অসদ্‌বিম্ব। অনুরূপভাবে পয়সাটির অপরাপর বিন্দুগুলিরও আপাত-উত্থানে পয়সাটির সমগ্র প্রতিবিম্বটি P'-এর অবস্থানে পরিলক্ষিত হয়।

(ii) **জলে আংশিক নিমজ্জিত দণ্ডের আপাত-বক্রতা** (Apparent bending of partly immersed rod)—4C চিত্র অনুযায়ী একটি সরল দণ্ড আনত-ভাবে আংশিক জলে নিমজ্জিত করিলে, চক্ষুতে প্রতীয়মান হইবে ঐ নিমজ্জিত অংশ যেন বাঁকিয়া যাইয়া দণ্ডের বাহিরের অংশের সহিত স্থূলকোণ উৎপাদন করিয়াছে। আলোকের প্রতিসরণের ফলে এইরূপ আপাত-বক্রতা পরিলক্ষিত হয়।

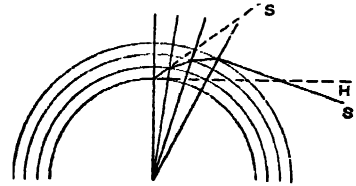


চিত্র 4C

চিত্রে, P_1 এবং P_2 হইতে আগত অপসারী দুইটি রশ্মিগুচ্ছ (ঘনতর মাধ্যম) জল হইতে (লঘুতর মাধ্যম) বাতাসে

প্রতিসৃত হওয়ায় উহারা বাঁকিয়া চক্ষুতে প্রবেশ করে এবং এই প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ দুইটি যেন যথাক্রমে P_1' এবং P_2' হইতে আসিতেছে বলিয়া প্রতীয়মান হয়। সুতরাং P_1' এবং P_2' নির্দেশ করে P_1 এবং P_2-এর প্রতিসরণ-জনিত অসদ্‌বিম্ব। অনুরূপ বিবেচনায়, দণ্ডের নিমজ্জিত অংশের অপরাপর বিন্দুপ্রভবগুলির আনুষঙ্গিক অসদ্‌বিম্ব P_1' ও P_2'-এর সমসূত্রে অবস্থান করে। এই অসদ্‌বিম্বগুলির সমষ্টি নির্দেশ করে সামগ্রিকভাবে নিমজ্জিত অংশের অসদ্‌প্রতিবিম্ব। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, এই অসদ্‌প্রতিবিম্ব মূল দণ্ডটির সহিত স্থূলকোণে অবস্থান করে। সুতরাং, আলোকের প্রতিসরণের ফলে দণ্ডের এই আপাত-বক্রতা পরিলক্ষিত হয়।

(iii) **উদীয়মান সূর্য এবং অস্তগামী সূর্যের আপাত-রূপ**—প্রত্যুষে পূর্বদিগন্তে এবং দিনান্তে পশ্চিমদিগন্তে সূর্যকে লাল গোলাকৃতি চাকৃতির ন্যায় দেখায়। উহা যথার্থ সূর্য নহে। উহা আলোকের প্রতিসরণ-জনিত সূর্যের অসদ্‌-প্রতিবিম্ব। সূর্যের এই আপাত-রূপ নিম্নলিখিতভাবে ব্যাখ্যা করা হয়।



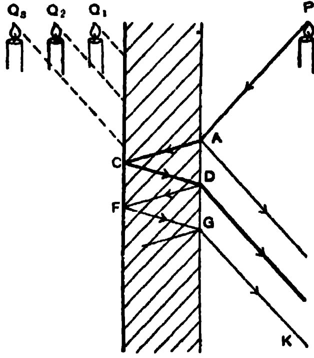
চিত্র 4D

4D চিত্রে, কতগুলি বৃত্তাকার রেখা অঙ্কিত করিয়া পৃথিবীপৃষ্ঠের বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তর দেখানো হইল। পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে উপরদিকে এই স্তরগুলির বায়ুর ঘনত্ব ক্রমশঃ লঘুতর হইতে থাকে। অতি প্রত্যুষে (মনে কর) সূর্য 'S' যখন দিগন্তরেখা H-এর নীচে অবস্থান করে, তখন উহা হইতে তির্যক্‌ভাবে আলোকরশ্মি বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তর ভেদ করিয়া পৃথিবীপৃষ্ঠের দিকে আসিতে থাকাকালীন ঐ রশ্মি ক্রমাগত লঘুতর বায়ুমাধ্যম হইতে ঘনতর বায়ুমাধ্যমে প্রতিসৃত হইতে থাকে। সুতরাং, প্রতি স্তরেই ঐ প্রতিসৃত রশ্মি আনুষঙ্গিক আপতন-বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া আসে এবং এইভাবে চালিত হইয়া শেষপর্যন্ত দর্শকের চক্ষুতে প্রবেশ করে। দর্শক মনে করে ঐ রশ্মি যেন দিগন্তরেখার উপরে অবস্থিত S' হইতে আসিতেছে এবং উহাই যেন সূর্যের প্রকৃত অবস্থান। কিন্তু বস্তুতঃ S' সূর্যের প্রতিসরণ-জনিত অসদ্‌বিম্ব। যেহেতু সূর্যের ঐ অবস্থানে খুব কম পরিমাণ আলোক তির্যক্‌ভাবে পৃথিবীতে আসিতে পারে, সুতরাং S' তেমন উজ্জ্বল দেখায় না। উহা গোলাকৃতি লাল থালার ন্যায় দেখা যায়।

অনুরূপ কারণে দিনান্তেও পশ্চিমদিগন্তে সূর্যের লাল গোলাকৃতি রূপ পরিলক্ষিত হয়।

(iv) **পুরু সমতল দর্পণে একাধিক প্রতিবিম্ব-সংগঠন**—4E চিত্রে,

একটি পুরু সমতল দর্পণের সম্মুখে একখণ্ড জ্বলন্ত মোমবাতি P খাড়াভাবে স্থাপন করা হইয়াছে। ঈষৎ তির্যক্‌ভাবে দর্পণের দিকে তাকাইলে দেখিতে পাওয়া যায়, উহার পিছনে পর পর একাধিক প্রতিবিম্ব সংগঠিত হইয়াছে। উহারা মোমবাতিটির সহিত একই রেখায় খাড়াভাবে অবস্থান করে কিন্তু উহাদের প্রত্যেকটি সমভাবে উজ্জ্বল দেখায় না। চিত্রের Q_2 প্রতিবিম্বটি সর্বাধিক উজ্জ্বল দেখায়, উহার সম্মুখে অবস্থিত Q_1 প্রতিবিম্বটি অপেক্ষাকৃত কম উজ্জ্বল দেখায় এবং Q_2-এর পিছনের প্রতিবিম্বগুলি ক্রমাগত নিষ্প্রভ হইতে থাকে।



চিত্র 4E

নিম্নের আলোচনা হইতে বুঝা যায়, এই একাধিক প্রতিবিম্ব-সংগঠন আলোকের প্রতিফলন ও প্রতিসরণের যুক্ত ফলাফল নির্দেশ করে।

চিত্রে, P হইতে আগত PA রশ্মি যখন দর্পণটির সম্মুখের তলের A বিন্দুতে আপতিত হয় তখন উহার সামান্য কিছু অংশ বাতাসে প্রতিফলিত হইয়া জ্বলন্ত মোমবাতিটির Q_1 প্রতিবিম্বটি সংগঠন করে। অতঃপর ঐ রশ্মির অবশিষ্টাংশ দর্পণের কাচের মধ্যে AC অভিমুখে প্রতিসৃত হইয়া C বিন্দুতে আপতিত হয়। দর্পণের পিছনের তল পারদে প্রলেপিত থাকায় উহা পূর্ণ প্রতিফলকের কাজ করে। সুতরাং, AC আপতিত রশ্মি দর্পণের মধ্যে CD অভিমুখে প্রতিফলিত হইয়া দর্পণের সম্মুখের তলের D বিন্দুতে আপতিত হয় এবং D বিন্দুতে এই আপতিত রশ্মির অধিকাংশই বাতাসে প্রতিসৃত হইয়া Q_2 প্রতিবিম্বটির সংগঠন করে। যেহেতু D বিন্দুতে অধিকাংশ রশ্মিই প্রতিসৃত হইয়া থাকে, সুতরাং মোমবাতিটির Q_2 প্রতিবিম্ব সর্বাধিক উজ্জ্বল দেখাইবে।

অনুরূপভাবে অবশিষ্ট আলোকরশ্মি দর্পণে পর পর প্রতিফলিত (পিছনের তলে) এবং প্রতিসৃত (সম্মুখের তলে) হইয়া Q_3 ইত্যাদি অপরাপর প্রতিবিম্বগুলির সংগঠন করে। প্রতিবারের প্রতিসরণের ফলে আলোকের উজ্জ্বলতা কমিয়া আসে, সুতরাং Q_2-এর পরের প্রতিবিম্বগুলি ক্রমশঃ নিষ্প্রভ হয় এবং বাস্তবক্ষেত্রে মাত্র কয়েকটি প্রতিবিম্ব দেখিতে পাওয়া যায়।

4·3. আলোক-প্রতিসরণের সূত্র :

প্রথম সূত্র : আপতিত রশ্মি, আনুষঙ্গিক প্রতিসৃত রশ্মি এবং বিভাগ-তলের আপতন-বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব একই তলে অবস্থান করে।

অর্থাৎ, 4A(i) এবং 4A(ii) চিত্রদৃষ্টে,

PO, OQ এবং NON' একই তলে অবস্থান করে।

দ্বিতীয় সূত্র [অর্থাৎ স্নেল-এর সূত্র (Snell's law)] : কোন নির্দিষ্ট বর্ণের আলোক যদি এক নির্দিষ্ট মাধ্যম হইতে অপর একটি নির্দিষ্ট মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়, তাহা হইলে আপতন-কোণের সাইন (sine) এবং প্রতিসরণ-কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুবক হয়।

অর্থাৎ, 4A(i) এবং 4A(ii) চিত্রদৃষ্টে,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{ধ্রুবক } (\mu).$$

এই ধ্রুবকটি সাধারণতঃ μ (মিউ) অক্ষর দ্বারা নির্দেশিত হয়, এবং **ধ্রুবকটিকে বলা হয় প্রথম মাধ্যমের তুলনায় (with respect to) দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক** (Refractive Index, সংক্ষেপে R.I.)।

4·4. প্রতিসরাঙ্কের বৈশিষ্ট্য :

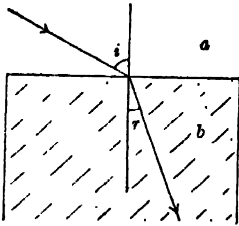
(i) মাধ্যম দুইটি নির্দিষ্ট থাকিলে, বিভিন্ন বর্ণের আলোকের ক্ষেত্রে প্রতিসরাঙ্কের মান বিভিন্ন হয় ; যেমন—হরিদ্রাবর্ণের (yellow) আলোকের ক্ষেত্রে, বাতাসের তুলনায় জলের প্রতিসরাঙ্ক 1·334 ; লালবর্ণের (red) আলোকের ক্ষেত্রে ঐ প্রতিসরাঙ্কের মান 1·330 ; বেগনী-বর্ণের (violet) আলোকের ক্ষেত্রে, উহার মান 1·344 ইত্যাদি।

(ii) নির্দিষ্ট বর্ণের আলোকের ক্ষেত্রে বিভিন্ন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বিভিন্ন ; যেমন—হরিদ্রাবর্ণের আলোকের ক্ষেত্রে বাতাসের তুলনায় জলের প্রতিসরাঙ্ক 1·33 এবং সাধারণ কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·52।

(iii) **চরম প্রতিসরাঙ্ক** (Absolute Refractive Index)—আলোক যখন শূন্যস্থান (vacuum) হইতে অপর কোন মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়, তখন শূন্যের সাপেক্ষে ঐ মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ককে বলা হয় চরম প্রতিসরাঙ্ক। বিভিন্ন বর্ণের আলোকের ক্ষেত্রে একই মাধ্যমের চরম প্রতিসরাঙ্কের মান বিভিন্ন হয়। বাতাসের চরম প্রতিসরাঙ্কের মান নগণ্য হওয়ায়, সাধারণতঃ বাতাসের তুলনায় অন্য কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক ধরিয়া লওয়া হয় ঐ মাধ্যমের চরম প্রতিসরাঙ্ক।

কোন মাধ্যমের চরম প্রতিসরাঙ্ক ঐ মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক অপেক্ষা অধিক ; যেমন—কাচের চরম প্রতিসরাঙ্ক 1·5 ধরা হইলে, জলের তুলনায় ঐ কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·1 নির্ণীত হইয়া থাকে।

(iv) **দুইটি মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্ক**—দুইটি মাধ্যমের নাম দেওয়া হইল 'a' এবং 'b'। মনে কর, 'a' মাধ্যমের তুলনায় 'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক ${}_a\mu_b$ এবং 'b' মাধ্যমের তুলনায় 'a' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক ${}_b\mu_a$। এই আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক দুইটি বিপরীত সম্পর্ক বজায় রাখে—অর্থাৎ, ${}_a\mu_b = \frac{1}{{}_b\mu_a}$.



চিত্র 4F

4F চিত্রে বাতাস 'a' মাধ্যম এবং কাচ 'b' মাধ্যম ধরা হইল। এখন বাতাস হইতে আগত রশ্মি কাচে প্রতিসৃত হইলে, চিত্রানুযায়ী আপতন-কোণ i এবং প্রতিসরণ-কোণ r। সুতরাং, প্রতিসরণের সূত্র অনুযায়ী,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = {}_a\mu_b.$$

যেহেতু আলোকের গতিপথ প্রত্যাবর্তনশীল (reversible), সুতরাং কাচের মধ্যে আলোকরশ্মির আপতন-কোণ r হইলে, বাতাসে আনুষঙ্গিক প্রতিসরণ-কোণ i হইবে।

অতএব এক্ষেত্রে, $\frac{\sin r}{\sin i} = {}_b\mu_a.$

সুতরাং, ${}_a\mu_b \times {}_b\mu_a = \frac{\sin i}{\sin r} \times \frac{\sin r}{\sin i} = 1.$

$$\therefore \quad {}_a\mu_b = \frac{1}{{}_b\mu_a}.$$

অর্থাৎ আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক দুইটি বিপরীত সম্পর্ক বজায় রাখে (holds reciprocal relation)।

আমরা জানি, বাতাস-সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক, ${}_a\mu_b = \frac{3}{2}$।

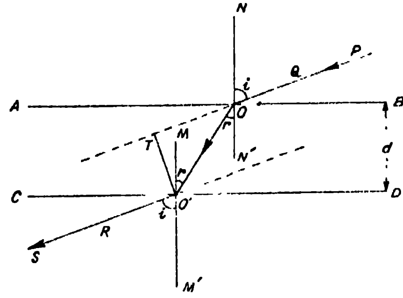
সুতরাং, কাচ-সাপেক্ষে বাতাসের প্রতিসরাঙ্ক,

$${}_b\mu_a = \frac{1}{{}_a\mu_b} = \frac{1}{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3}.$$

4·5. আলোকের প্রতিসরণ সূত্রদ্বয়ের পরীক্ষার সাহায্যে সত্যতা প্রমাণ:

(i) **হার্টল-এর আলোক-চাকতি (Hartle's optical disc) সাহায্যে প্রমাণ**—আলোকের প্রতিফলন সূত্রদ্বয়ের সত্যতা প্রতিপাদন সম্পর্কে এই যন্ত্রটির বিবরণ দেওয়া হইয়াছে। বর্তমান আলোচনা-প্রসঙ্গে পুনরায় যন্ত্রটি 4G চিত্রে দেখানো হইল।

এই সমতল পৃষ্ঠ দুইটির দ্বারা একটি ঘনতর মাধ্যম (মনে কর, কাচ) সীমিত হইয়াছে। এই মাধ্যমটি একটি লঘুতর মাধ্যমে (মনে কর, বাতাসে) অবস্থিত আছে। চিত্র অনুযায়ী, লঘুতর মাধ্যম হইতে PQ রশ্মি AB তলের O বিন্দুতে আপতিত হইয়া ঘনতর মাধ্যমে OO' অভিমুখে প্রতিসৃত হইয়াছে এবং এই প্রতিসৃত রশ্মি CD তলের O' বিন্দুতে আপতিত হইয়া পুনরায় লঘুতর মাধ্যমে RS অভিমুখে প্রতিসৃত হইয়াছে। এখন নিম্নলিখিত উপায়ে প্রমাণ করা যায় যে, RS রশ্মি PQ-এর সমান্তরাল এবং উহা PQ হইতে $O'T$ দূরত্বে পার্শ্বের দিকে সরিয়া আসিয়াছে। অর্থাৎ আপতিত রশ্মির পার্শ্বীয় বিচ্যুতি হইয়াছে।



চিত্র 4J

প্রমাণঃ PQ রশ্মি যখন লঘুতর মাধ্যম হইতে ঘনতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় তখন প্রতিসরাঙ্ক,

$$_a\mu_b = \frac{\sin i}{\sin r}.$$

আবার, যখন OO' রশ্মি ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে RS অভিমুখে প্রতিসৃত হয় তখন প্রতিসরাঙ্ক,

$$_b\mu_a = \frac{\sin OO'M}{\sin SO'M'} = \frac{\sin r}{\sin SO'M'}.$$

[এক্ষেত্রে, $\angle OO'M = \angle r$ নির্দেশ করে আপতন-কোণ এবং $\angle SO'M'$ নির্দেশ করে আনুষঙ্গিক প্রতিসরণ-কোণ।]

পূর্বে বলা হইয়াছে যে, দুইটি মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্কের পরস্পরের মধ্যের সম্পর্ক হইল,

$$_a\mu_b = \frac{1}{_b\mu_a}.$$

সুতরাং, এক্ষেত্রে, $$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{\dfrac{\sin r}{\sin SO'M'}} = \frac{\sin SO'M'}{\sin r}.$$

সুতরাং, $\sin i = \sin SO'M'$.

$\therefore \quad \angle i = \angle SO'M'$.

অর্থাৎ RS রশ্মি PQ রশ্মির সমান্তরালে CD তল হইতে নির্গত হইয়াছে। চিত্রে RS নির্গত রশ্মি PQ হইতে $O'T$ দূরত্বে সরিয়া আসিয়াছে। এই $O'T$ নির্দেশ করে প্রতিসৃত রশ্মির পার্শ্বীয় বিচ্যুতি। নিম্নে ইহার পরিমাণ নির্ণীত হইল।

চিত্রে $\dfrac{O'T}{OO'} = \sin(i-r)$

অথবা, $O'T = OO' \sin(i-r)$;

আবার $\dfrac{d}{OO'} = \cos r$ [d = মাধ্যমের বেধ, অর্থাৎ AB এবং CD-এর মধ্যে দূরত্ব]

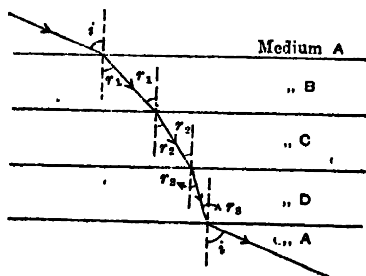
অথবা, $OO' = \dfrac{d}{\cos r}$.

সুতরাং, $O'T = \dfrac{d}{\cos r} \sin(i-r)$.

সুতরাং দেখা যায়, RS রশ্মির পার্শ্বীয় বিচ্যুতি—মাধ্যমের বেধ; আপতন-কোণ এবং প্রতিসরণ-কোণের (অর্থাৎ প্রতিসরাঙ্কের) মানের উপর নির্ভর করে।

[প্রাথমিক পাঠকালীন এই অনুচ্ছেদ বাদ দেওয়া সঙ্গত।]

4·7. পর পর সাজানো ক্রমবর্ধমান ঘনত্বের সমান্তরাল স্বচ্ছ ফলকসমূহে আলোকরশ্মির প্রতিসরণের ফলাফল (Refraction through a pile of parallel media of increasing density) : 4K চিত্রে A, B, C, D নির্দেশ করে কয়েকটি ক্রমবর্ধমান ঘনত্বের সমান্তরাল মাধ্যম। এই মাধ্যমগুলি এরূপ-ভাবে সাজানো যে, B মাধ্যম A মাধ্যম অপেক্ষা ঘনতর, C মাধ্যম B মাধ্যম অপেক্ষা ঘনতর, D মাধ্যম C মাধ্যম অপেক্ষা ঘনতর এবং প্রথম মাধ্যম এবং শেষের মাধ্যম উভয়ই এক। উপরোক্ত মাধ্যমগুলির এইপ্রকারে সাজানো অবস্থায় কোন আলোকরশ্মি উপরের A মাধ্যমে আপতিত হইলে ঐ আপতিত রশ্মি B, C, D মাধ্যমে পর পর প্রতিসৃত হইয়া পুনরায় নীচের A মাধ্যমে নির্গত হয় এবং দেখা যায় এই আপতিত রশ্মি এবং নির্গত রশ্মি পরস্পর সমান্তরাল। ঐপ্রকারে সজ্জিত ক্রমবর্ধমান ঘনত্বের একাধিক মাধ্যমে



চিত্র 4K

আলোকের প্রতিসরণ হইলে, মাধ্যমগুলির আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্কের পারস্পরিক সম্পর্ক নিম্নোক্তভাবে নির্দেশ করা সম্ভব হয় :

চিত্রদৃষ্টে—

A মাধ্যম-সাপেক্ষে B মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $\rightarrow \quad {}_a\mu_b = \dfrac{\sin i}{\sin r_1}$

B " " C " " $\rightarrow \quad {}_b\mu_c = \dfrac{\sin r_1}{\sin r_2}$

C " " D " " $\rightarrow \quad {}_c\mu_d = \dfrac{\sin r_2}{\sin r_3}$

D " " A " " $\rightarrow \quad {}_d\mu_a = \dfrac{\sin r_3}{\sin i}$

সুতরাং, $${}_a\mu_b \times {}_b\mu_c \times {}_c\mu_d \times {}_d\mu_a = \frac{\sin i}{\sin r_1} \times \frac{\sin r_1}{\sin r_2} \times \frac{\sin r^2}{\sin r_3} \times \frac{\sin r_3}{\sin i}$$
$$= 1.$$

এই সমীকরণটির সাহায্যে একটি মাধ্যম-সাপেক্ষে অপর একটি মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক (Relative refractive index) নির্ণয় করা হইয়া থাকে।

মনে কর, জলের প্রতিসরাঙ্ক ${}_a\mu_w = \frac{4}{3}$, কাচের প্রতিসরাঙ্ক ${}_a\mu_g = \frac{3}{2}$.

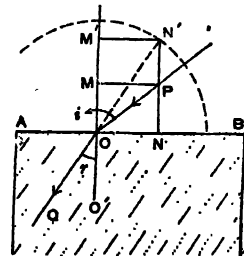
সুতরাং, ${}_a\mu_w \times {}_w\mu_g \times {}_g\mu_a = 1.$

সুতরাং, জল-সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\rightarrow {}_w\mu_g = \dfrac{1}{{}_a\mu_w \times {}_g\mu_a}$

$$= \frac{1}{\frac{4}{3} \times \frac{2}{3}} = \frac{9}{8}.$$

4·8. চিত্রাঙ্কনে প্রতিসৃত রশ্মি গঠন (Construction of efracted ray) : বর্তমান আলোচনায় মাধ্যম দুইটির বিভেদ-তল সমতল ধরা ইয়াছে এবং '(a)' নির্দেশ করে লঘুতর মাধ্যম হইতে ঘনতর মাধ্যমে প্রতিসৃত রশ্মির ঙ্কন ও '(b)' নির্দেশ করে ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসৃত রশ্মির অঙ্কন।

(a) **ঘনতর মাধ্যমে প্রতিসৃত রশ্মি অঙ্কনের পদ্ধতি**—4L(i) চিত্রে, AB নির্দেশ করে দুইটি মাধ্যমের বিভেদ-তল। ইহার উপরের দিকে লঘুতর মাধ্যম মনে কর, বাতাস) এবং নীচের দিকে ঘনতর মাধ্যম মনে কর, কাচ অথবা জল) আছে। চিত্রে লঘুতর াধ্যমে PO আপতিত রশ্মি বিবেচনা করা হইল এবং হা O বিন্দুতে আপতিত হইয়াছে। মনে কর, লঘুতর াধ্যম-সাপেক্ষে ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ জ্ঞাত)। এখন, PO রশ্মিরেখার উপর P বিন্দু লও বং $OP \times \mu$ ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্তাংশ অঙ্কন



চিত্র 4L(i)

কর। এই বৃত্তের কেন্দ্র আপতন বিন্দু O-তে অবস্থিত। যেহেতু এক্ষেত্রে μ-এর মান একের অধিক, সুতরাং বিভেদ-তলের উপর পাতিত PN লম্ব উপরের দিকে বর্ধিত করিলে উহা N' বিন্দুতে বৃত্তটি ছেদ করে।

অতঃপর $N'O$ রেখা ঘনতর মাধ্যমে বর্ধিত কর। ঐ রেখার OQ অংশ নির্দেশ করে OP আপতিত রশ্মির ঘনতর মাধ্যমে আনুষঙ্গিক প্রতিসৃত রশ্মি।

প্রমাণ—চিত্রের O আপতন-বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্বের উপর P এবং N' বিন্দু হইতে যথাক্রমে PM এবং $N'M'$ লম্ব টান। চিত্র অনুযায়ী,

$$\angle POM = i \text{ (আপতন-কোণ) };$$
$$\angle N'OM' = \angle QOO' = r.$$

এখন $\sin i = \dfrac{PM}{OP}$;

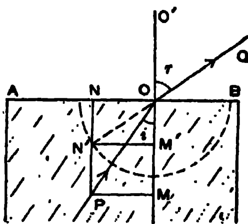
$$\sin r = \sin \angle N'OM' = \frac{N'M'}{ON'} = \frac{N'M'}{\mu \times OP}$$
$$= \frac{PM}{\mu \times OP} \quad [\because PM = N'M']$$

সুতরাং, $\dfrac{\sin i}{\sin r} = \dfrac{PM}{OP} \Big/ \dfrac{PM}{\mu \times OP} = \dfrac{\mu \times OP}{OP}$

$$= \mu.$$

অতএব, অঙ্কিত OQ রেখা নির্দেশ করে OP-এর আনুষঙ্গিক প্রতিসৃত রশ্মি।

(b) **লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসৃত রশ্মি অঙ্কনের পদ্ধতি**—4L(ii) চিত্রে PO রশ্মি ঘনতর মাধ্যম হইতে AB বিভেদ-তলের O বিন্দুতে আপতিত হইয়াছে।



চিত্র 4L(ii)

এক্ষেত্রে মনে কর, μ নির্দেশ করে লঘুতর মাধ্যম-সাপেক্ষে ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক (জ্ঞাত)। সুতরাং, ঘনতর মাধ্যম-সাপেক্ষে লঘুতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক, $\dfrac{1}{\mu}$ (উহা এক অপেক্ষা কম)।

এখন আপতিত রশ্মির উপর সুবিধামতো স্থানে P বিন্দু লও এবং $\dfrac{1}{\mu} \times OP$ ব্যাসার্ধ লইয়া O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া বৃত্তাংশ অঙ্কন কর। যেহেতু P বিন্দু এই বৃত্তের বাহিরে অবস্থান করে, সুতরাং P হইতে পাতিত বিভেদ-তলের উপর PN লম্ব বৃত্তটিকে N' বিন্দুতে ছেদ করে। এখন $N'O$ রেখা লঘুতর মাধ্যমে বর্ধিত করিলে, উহার OQ অংশ নির্দেশ

করে PO রশ্মির আনুষঙ্গিক প্রতিসৃত রশ্মি। পূর্ববর্ণিত পদ্ধতি অনুযায়ী PM এবং $N'M'$ লম্ব অঙ্কন কর।

এখন চিত্রদৃষ্টে,

$$\angle POM = i \text{ (আপতন-কোণ)},$$

$$\angle N'OM' = \angle QOO' = r,$$

$$\sin i = \frac{PM}{OP},$$

$$\sin r = \sin \angle N'OM' = \frac{N'M'}{\frac{1}{\mu} \times OP} = \frac{PM}{\frac{1}{\mu} \times OP}$$

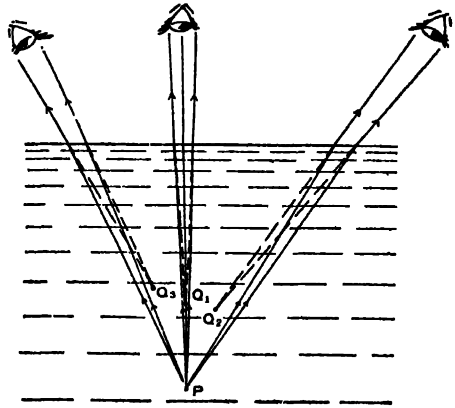
$$[\because N'M' = PM].$$

সুতরাং $\dfrac{\sin i}{\sin r} = \dfrac{PM}{OP} \Big/ \dfrac{PM}{\frac{1}{\mu} \times OP} = \dfrac{1}{\mu}.$

অতএব, OQ নির্দেশ করে আবশ্যকীয় প্রতিসৃত রশ্মি।

(যদি μ-এর মান খুব অধিক হয়, তাহা হইলে এই অঙ্কন-পদ্ধতি চলিবে না। কিন্তু এই পদ্ধতিই অধিকাংশ ক্ষেত্রে কার্যকর হইয়া থাকে।)

4·9. সমতলে আলোক-প্রতিসরণে প্রতিবিম্ব-সংগঠন : কোন প্রভব হইতে আগত অপসারী রশ্মিগুচ্ছ সমতল বিভেদ-তলে প্রতিসৃত হইলে, উহাদ্বারা প্রভবের সংজ্ঞাসম্মত প্রতিবিম্ব সংগঠন হয় না। 4M(i) চিত্রের সাহায্যে ইহা বুঝানো হইল। চিত্রে P বিন্দু-প্রভবটি ঘনতর মাধ্যমে (মনে কর, জলে) এবং চক্ষু লঘুতর মাধ্যমে (মনে কর, বাতাসে) অবস্থিত। এক্ষেত্রে চক্ষুর বিভিন্ন অবস্থানে P-এর তথাকথিত প্রতিবিম্বের অবস্থান Q_1, Q_2, Q_3 ইত্যাদি বিন্দুতে পরিলক্ষিত হয়। সংজ্ঞাসম্মত প্রতিবিম্ব-সংগঠনের ক্ষেত্রে উহার অবস্থান চক্ষুর অবস্থান-সাপেক্ষ নয়।



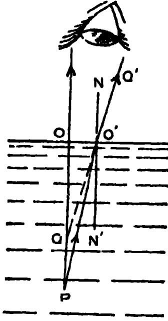
চিত্র 4M (i)

এক্ষেত্রে P হইতে আগত অপসারী রশ্মিগুচ্ছ বিভেদ-তলের অভিলম্ব বরাবর

প্রতিসৃত হইয়া যে প্রতিবিম্ব সংগঠন করে, উহাকে ধরা হয় P-এর প্রতিবিম্ব। চিত্রে Q_1 নির্দেশ করে এই প্রতিবিম্ব। এইপ্রকারের প্রতিবিম্বকে ইংরাজীতে বলা হয়—"Image due to direct refraction"।

নিম্নবর্ণিত পদ্ধতিতে এইপ্রকারে সংগঠিত প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় করা হয়ঃ

(a) **বিন্দুপ্রভব ঘনতর মাধ্যমে এবং চক্ষু লঘুতর মাধ্যমে**—4M(ii) চিত্রে, মনে কর, P বিন্দুপ্রভব u গভীরতায় জলে অবস্থিত। সুতরাং বিভেদ-তল হইতে উহার দূরত্ব, $u = PO$। মনে কর, লঘুতর মাধ্যম বাতাস এবং উহার সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক, μ।



চিত্র 4M(ii)

এখন চিত্রের অনুরূপ PO এবং PO' রশ্মিরেখা অঙ্কন কর এবং O' আপতন-বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া ও $\frac{1}{\mu} \times PO'$ ব্যাসার্ধ লইয়া বৃত্তচাপ অঙ্কিত কর। উহা PO অভিলম্ব রেখাকে Q বিন্দুতে ছেদ করে। অতঃপর 4·8(b) অনুচ্ছেদের পদ্ধতি অনুযায়ী QO' রেখা বাতাসে বর্ধিত করিলে উহার $O'Q'$ অংশ নির্দেশ করে PO' রশ্মির আনুষঙ্গিক প্রতিসৃত রশ্মি এবং PO অভিলম্ব বরাবর রশ্মিটি কোনরূপ বিচ্যুত না হইয়া সরাসরি বাতাসে চালিত হয়।

সুতরাং, বাতাসে খাড়াভাবে স্থাপিত চক্ষুতে P হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ যেন Q হইতে আসিতেছে এইরূপ প্রতীয়মান হয় এবং উহাই নির্দেশ করে অভিলম্ব বরাবর আলোকের প্রতিসরণ-জনিত P-এর অসদ্‌বিম্ব। বিভেদ-তল হইতে ইহার দূরত্ব, $OQ = v$ (মনে কর)।

Q-এর অবস্থান নির্ণয়—চিত্রদৃষ্টে,

আপতন কোণ i (মনে কর) $= \angle PO'N' = \angle O'PO$

এবং প্রতিসরণ-কোণ r (মনে কর) $= \angle Q'O'N = \angle O'QO$।

এখন, $\sin i = \frac{OO'}{PO'} = \frac{OO'}{PO}$ [$\because$ PO' প্রায় PO-এর সমান];

$\sin r = \frac{OO'}{QO'} = \frac{OO'}{QO}$ [$\because$ QO' প্রায় QO-এর সমান]।

অতএব, $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{OO'}{PO} \Big/ \frac{OO'}{QO} = \frac{QO}{PO} = \frac{1}{\mu}$

[এক্ষেত্রে, $\frac{1}{\mu}$ জল-সাপেক্ষে বাতাসের প্রতিসরাঙ্ক]

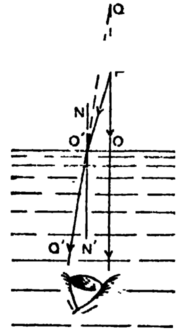
স্নতরাং, $\frac{v}{u}=\frac{1}{\mu}$

অথবা, $u=v\times\mu.$

এখন এই সমীকরণের সাহায্যে প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণীত হয়। এই সমীকরণ-দৃষ্টে, $\mu=\frac{u}{v}=\frac{\text{বিভেদ-তল হইতে প্রভবের দূরত্ব}}{\text{বিভেদ-তল হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব}}$।

যেহেতু μ একের অধিক, স্নতরাং বর্তমান ক্ষেত্রে বস্তুর আপাত-গভীরতা উহার প্রকৃত গভীরতা অপেক্ষা কম। অর্থাৎ জলে অবস্থিত প্রভবের প্রতিবিম্ব খাড়াভাবে বাতাসে স্থাপিত চক্ষুর দিকে যেন সরিয়া আসে এরূপ প্রতীয়মান হইবে।

(b) **বিন্দুপ্রভব লঘুতর মাধ্যমে এবং চক্ষু ঘনতর মাধ্যমে**—4M(iii) চিত্রে, মনে কর, মাধ্যম দুইটি জল ও বাতাস। P বিন্দুপ্রভব বাতাসে অবস্থিত এবং বিভেদ-তল হইতে উহার দূরত্ব, $u=PO$ (মনে কর)। এখন 4·9(a) অনুচ্ছেদের পদ্ধতি অনুযায়ী O' আপতন-বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া এবং $\mu\times O'P$ ব্যাসার্ধ লইয়া যে বৃত্তচাপ অঙ্কিত করা হয়, উহা উপরের দিকে বর্ধিত PO রেখাকে Q.বিন্দুতে ছেদ করে (চিত্র দেখ)। এই Q বিন্দু নির্দেশ করে অভিলম্ব বরাবর আলোকের প্রতিসরণ-জনিত P-এর অসদ্‌বিম্ব। উহা জলে অবস্থিত চক্ষু হইতে দূরে সরিয়া যায় এবং মনে কর, বিভেদ-তল হইতে উহার দূরত্ব, $v=OQ$।



চিত্র 4M(iii)

চিত্রে, PO' আপতিত রশ্মির আনুষঙ্গিক

আপতন-কোণ, মনে কর, $i=\angle PO'N=\angle O'PO$;

প্রতিসরণ কোণ, মনে কর, $r=\angle Q'O'N'=\angle O'QO.$

এখন, $\sin i=\frac{O'O}{O'P}=\frac{O'O}{OP}$ এবং $\sin r=\frac{O'O}{O'Q}=\frac{O'O}{OQ}$

[যেহেতু O ও O' কাছাকাছি অবস্থিত]

অতএব, $\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{O'O}{OP}\Big/\frac{O'O}{OQ}=\frac{OQ}{OP}=\mu.$

স্নতরাং, $\frac{OQ}{OP}=\frac{v}{u}=\mu$

অর্থাৎ, $\frac{\text{বিভেদ-তল হইতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব}}{\text{ঐ তল হইতে প্রভবের দূরত্ব}}=\mu.$

যেহেতু μ-এর মান একের অধিক, সুতরাং বিভেদ-তল হইতে প্রতিবিম্ব প্রভব অপেক্ষা দূরে অবস্থান করে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে জলে নিমজ্জিত চক্ষু হইতে প্রতিবিম্ব যেন দূরে সরিয়া যায় এরূপ প্রতীয়মান হইবে।

উদাহরণ। (1) একটি জলপূর্ণ পুকুরের গভীরতা 16 ft.। বাতাস-সাপেক্ষে জলের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$। পুকুরের আপাত-গভীরতা নির্ণয় কর। [A tank full of water is 16 ft. deep. If the refractive index of water with respect to air be $\frac{4}{3}$, find apparent depth of the tank.]

উত্তর। এক্ষেত্রে, u নির্দেশ করে পুকুরের গভীরতা ;

v „ „ আপাত-গভীরতা।

4·9(a) অনুচ্ছেদের সমীকরণ হিসাবে,

$$\frac{v}{u} = \frac{1}{\mu}$$

অথবা, $v = u \times \frac{1}{\mu} = 16 \times \frac{1}{\frac{4}{3}}$

$$= \frac{16 \times 3}{4} = 12 \text{ ft.}$$

সুতরাং, পুকুরের আপাত-গভীরতা 12 ft.

(2) এক ইঞ্চি বেধের একটি কাচফলক একখণ্ড কাগজের 'ডট্' (dot) চিহ্নের উপর বসাইয়া উহার দিকে খাড়াভাবে তাকাইলে মনে হইবে ঐ চিহ্ন ফলকের উপরতল হইতে ·64 ইঞ্চি নীচে অবস্থান করে। বাতাস-সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [A plate of glass of thickness 1 inch is placed over a 'dot' on a sheet of paper. The 'dot' appears to be ·64 inch below the surface of the plate. Calculate refractive index of glass.]

উত্তর। এক্ষেত্রে, $u = 1$ inch ;

$v = \cdot 64$ inch ;

$\mu = ?$.

4·9(a) অনুচ্ছেদ অনুযায়ী,

$$\frac{v}{u} = \frac{1}{\mu}.$$

সুতরাং, $\mu = \frac{u}{v} = \frac{1}{\cdot 64} = 1\cdot 56$ (আনুমানিক)।

(3) 4 cm. বেধের একখণ্ড কাচফলকের তলদেশে একখানি ছবি লাগানো আছে। যদি কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·6 হয়, তাহা হইলে ঐ ছবির দিকে খাড়াভাবে তাকাইলে উহা তলদেশ হইতে যত ঊর্ধ্বে সরিয়া আসে বলিয়া প্রতীয়মান হয় তাহার পরিমাণ নির্ণয় কর। [A picture is stuck on the bottom of a glass block 4 cm. thick. If the refractive index of glass is 1·6, how much does the picture appear to be raised to perpendicular vision ?]

উত্তর। এক্ষেত্রে, $u = 4$ cm. ;

$\mu = 1{\cdot}6$;

$v = \ ?$

এবং $u - v = ?$.

4·9 (a) অনুচ্ছেদ অনুযায়ী,

$$\frac{v}{u} = \frac{1}{\mu}$$

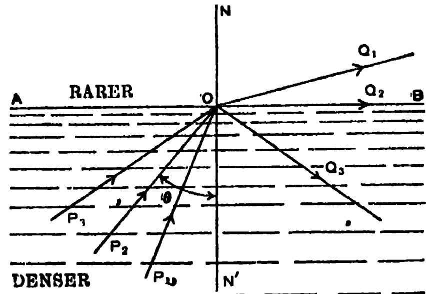
$$v = u \times \frac{1}{\mu} = 4 \times \frac{1}{1{\cdot}6} = 2{\cdot}5 \text{ cm.}$$

সুতরাং, $u - v = 4 - 2{\cdot}5 = 1{\cdot}5$ cm.

অতএব, ছবিটি মনে হইবে তলদেশ হইতে 1·5 cm. ঊর্ধ্বে সরিয়া আসিয়াছে।

4·10. পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন এবং সঙ্কট-কোণ

(Total internal reflection and Critical angle) ঃ পূর্বেই আলোচিত হইয়াছে যে, আলোকরশ্মি যখন ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়, তখন প্রতিসৃত রশ্মি বিভেদ-তলের আপতন-বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব হইতে দূরে বাঁকিয়া যায়—অর্থাৎ প্রতিসরণ-কোণের পরিমাণ আনুষঙ্গিক আপতন-কোণ অপেক্ষা অধিক হয়।



চিত্র 4N

4N চিত্রে, AB নির্দেশ করে ঘনতর ও লঘুতর মাধ্যম দুইটির বিভেদ-তল। P_1O রশ্মি ঘনতর মাধ্যম (মনে কর, জল) হইতে AB বিভেদ-তলের O বিন্দুতে আপতিত হইয়া লঘুতর মাধ্যমে (মনে কর, বাতাসে) OQ_1 অভিমুখে প্রতিসৃত হইয়াছে। সুতরাং, এক্ষেত্রে OQ_1 প্রতিসৃত রশ্মি NON' অভিলম্ব হইতে

দূরে বাঁকিয়া যায় এবং প্রতিসরণ-কোণ $\angle Q_1ON$ আপতন-কোণ $\angle P_1ON'$ অপেক্ষা বড় হয়। এখন, আপতন-কোণ যদি ক্রমাগত বর্ধিত করা হয়, তাহা হইলে আনুষঙ্গিক প্রতিসরণ-কোণও বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে, যেপর্যন্ত না আপতিত রশ্মি চিত্রে P_2O অবস্থানে এবং প্রতিসৃত রশ্মি AB বিভেদ-তল স্পর্শ করিয়া OQ_2 অবস্থানে আসে এই অবস্থায় প্রতিসরণ-কোণ $\angle Q_2ON$-এর মান সর্বাধিক এবং উহা 90°-এর সমান এক্ষেত্রে আনুষঙ্গিক আপতন-কোণ $\angle P_2ON'$-কে বলা হয়—লঘুতর মাধ্যম সম্পর্কে ঘনতর মাধ্যমের **সঙ্কট-কোণ** (Critical angle)। চিত্রে ইহা 'θ' দ্বারা নির্দেশিত হইয়াছে।

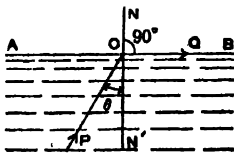
আপতন-কোণ সঙ্কট-কোণ অপেক্ষা বড় হইলে, আপতিত রশ্মি লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হওয়ার পরিবর্তে AB বিভেদ-তল হইতে সম্পূর্ণরূপে প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় ঘনতর মাধ্যমে ফিরিয়া আসে। চিত্রে P_3ON' আপতন-কোণ P_2ON' $(=\theta)$ সঙ্কট-কোণ অপেক্ষা বড় হওয়ায়, P_3O রশ্মি AB বিভেদ-তলের O বিন্দুতে আপতিত হইয়া প্রতিফলনের নিয়ম অনুযায়ী OQ_3 অভিমুখে পূর্ণ-প্রতিফলিত হইয়াছে। আলোক-রশ্মির এই প্রতিফলনকে বলা হয় **পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন** (Total internal reflection)। এক্ষেত্রে বিভেদ-তল দর্পণের ন্যায় কাজ করে।

পূর্ণ প্রতিফলনের আবশ্যকীয় শর্ত :

(i) আলোকরশ্মির ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হইতে হইবে।

(ii) ঘনতর মাধ্যমে আলোকরশ্মির আপতন-কোণ সঙ্কট-কোণ অপেক্ষা অধিক হইতে হইবে।

প্রতিসরাঙ্ক ও সঙ্কট-কোণের পারস্পরিক সম্পর্ক—4P চিত্রে, ঘনতর মাধ্যমে PO আপতিত রশ্মি NON' অভিলম্বের সহিত সঙ্কট-কোণ 'θ'-তে অবস্থান করিতেছে, সুতরাং উহার আনুষঙ্গিক প্রতিসৃত OQ রশ্মি বিভেদ-তল স্পর্শ করিয়া 90° প্রতিসরণ-কোণে অবস্থান করে। মনে কর, লঘুতর মাধ্যম-সাপেক্ষে ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসারাঙ্ক, μ।



চিত্র 4P

সুতরাং; এক্ষেত্রে, $\frac{\sin\theta}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{\mu}$.

$$\therefore \quad \sin\theta = \frac{1}{\mu} \quad \text{বা} \quad \mu = \frac{1}{\sin\theta}।$$

প্রতিসরাঙ্ক ও সঙ্কট-কোণের এই সম্পর্ক হইতে বুঝা যায়, কোন মাধ্যমের সঙ্কট-

কোণের পরিমাণ অধিক হইলে উহার প্রতিসরাঙ্কের মান কম হইবে এবং সঙ্কট-কোণের পরিমাণ কম হইলে আনুষঙ্গিক প্রতিসরাঙ্কের মান অধিক হইবে। যেমন—বাতাস-সাপেক্ষে কাচের সঙ্কট-কোণ, 41° এবং জলের সঙ্কট-কোণ, 48° 36′।

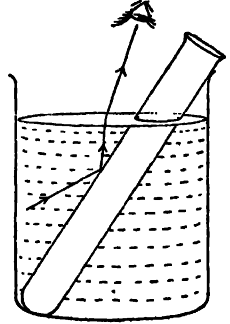
স্থতরাং, কাচের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = \frac{1}{\sin 41} = \frac{1}{\cdot 561} = 1 \cdot 52$;

জলের প্রতিসারাঙ্ক, $\mu = \frac{1}{\sin 48° 36'}$

$= \frac{1}{\cdot 7501} = 1 \cdot 33.$

4·11. পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের সাধারণ পরীক্ষাঃ

(1) **কাচের টেস্ট-টিউব সাহায্যে পরীক্ষা**—একটি আংশিক জলপূর্ণ কাচের বীকারের মধ্যে 4Q চিত্রে দর্শিত অনুরূপ কাতভাবে একটি কাচের টেস্ট-টিউব ডুবাইয়া ধর। উপর হইতে ঐ পরীক্ষা-নলটির গাত্রের দিকে তাকাইলে উহা চকচকে দেখায়। যদি চক্ষুর অবস্থান ঠিক রাখিয়া টেস্ট-টিউবটিতে জল লও, তাহা হইলে উহার গাত্র আর চকচকে দেখাইবে না।



চিত্র 4Q

ব্যাখ্যা ঃ প্রথম ক্ষেত্রে, টেস্ট-টিউবের বাহিরে জল (ঘনতর মাধ্যম), ভিতরে বায়ু (লঘুতর মাধ্যম) এবং টেস্ট-টিউবের গাত্র এই দুই মাধ্যমের বিভেদ-তল। যখন বাহিরের আলোক তির্যকভাবে জলের মধ্য দিয়া চালিত হইয়া টেস্ট-টিউবের গাত্রে আপতিত হয়, তখন উহাদের মধ্যে যে রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলির আপতন-কোণ বাতাস-সাপেক্ষে জলের সঙ্কট-কোণ অপেক্ষা অধিক হয়, তাহা টেস্ট-টিউবের অভ্যন্তরের বায়ুতে প্রতিসৃত না হইয়া জলের অভ্যন্তরে পূর্ণ-প্রতিফলিত হয় এবং চিত্রদর্শিত পথে ঐ রশ্মি চক্ষুতে প্রবেশ করে। স্থতরাং এক্ষেত্রে, টেস্ট-টিউবের গাত্র প্রতিফলকের কাজ করায় উহা চকচকে দেখায়।

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে—টেস্ট-টিউবের বাহিরে এবং ভিতরে জল থাকায়, অর্থাৎ একই মাধ্যম হওয়ায়, আলোকের প্রতিসরণ কিম্বা আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন কিছুই সম্ভব হয় না। স্থতরাং টেস্ট-টিউবের গাত্র চক্ষুতে স্বচ্ছ প্রতীয়মান হইয়া থাকে।

(2) **ভুসা-কালি-মাখানো ধাতব গোলকের সাহায্যে পরীক্ষা**—ভুসা-কালি একটি ধাতব গোলকের গাত্রে মাখাইয়া কাচের বীকারের জলে ডুবাইলে, বাহির হইতে উহা চকচকে দেখায়।

ব্যাখ্যা ঃ ভুসা-কালি মাখানোর ফলে গোলকটি জলে ডুবাইলেও উহার গাত্রে একটি পাতলা বাতাসের স্তর লাগিয়া থাকে। সুতরাং বীকারের জলের মধ্য দিয়া যেসকল আলোকরশ্মি জলের সঙ্কট-কোণ অপেক্ষা অধিক কোণে গোলকের গায়ের ঐ বায়ু-স্তরে আপতিত হয় তাহা পূর্ণ-প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় জলে ফিরিয়া আসে। এই প্রতিফলিত রশ্মিগুলি চোখে প্রবেশ করিলে গোলকটি ভুসা-কালি মাখানো সত্ত্বেও চক্‌চকে দেখায়।

4'12. পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের কয়েকটি সাধারণ দৃষ্টান্ত ঃ

(1) **বীকারের জলে বায়ু-বুদ্‌বুদ চক্‌চকে দেখানো**—বুদ্‌বুদগুলির প্রত্যেকটিকেই এক-একটি বায়ুপূর্ণ গোলক ধরা যায়। সুতরাং এক্ষেত্রে, বীকারের জল হইতে তির্যক্‌ভাবে আগত রশ্মিগুচ্ছ জলের সঙ্কট-কোণ অপেক্ষা অধিকতর কোণে যখন ঐ বুদ্‌বুদগুলির গায়ে আপতিত হয় তখন ঐ আপতিত রশ্মি বুদ্‌বুদের মধ্যে প্রবেশ না করিয়া উহাদের গাত্রে পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইয়া আমাদের চক্ষুতে প্রবেশ করে। কাজেই বুদ্‌বুদের গাত্র এক্ষেত্রে প্রতিফলকের কাজ করায় উহারা চক্‌চকে দেখায়। অনুরূপ কারণে কাগজ-চাপ (paper-weight)-গুলির মধ্যে কৃত্রিম উপায়ে সংরক্ষিত বায়ু-বুদ্‌বুদগুলি বাহিরের আলোকে চক্‌চকে দেখায় এবং কাগজ-চাপগুলি সুদৃশ্য হয়।

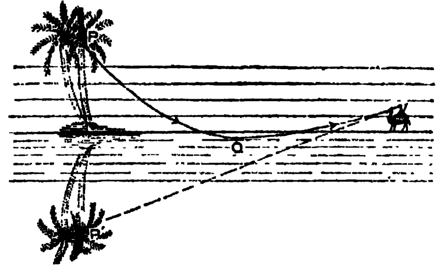
(2) **পল-তোলা পাথরের উজ্জ্বলতা**—খনি হইতে সদ্য-তোলা হীরক বা অন্যান্য মূল্যবান পাথর, যেমন—চুনী, পান্না প্রভৃতি অনুজ্জ্বল দেখায়। কিন্তু যখন উহাদিগকে কতকগুলি সমতল পৃষ্ঠে কাটিয়া বিশেষ আকৃতি দেওয়া যায় তখন উহারা উজ্জ্বল দেখায়। এই পাথরগুলির সঙ্কট-কোণ অপেক্ষাকৃত কম। কাজেই বাহির হইতে আগত বিভিন্ন রশ্মিগুচ্ছ পাথরখণ্ডগুলির মধ্যে প্রবেশ করিয়া বিভিন্ন তলে তির্যক্‌ভাবে আপতিত হইলে উহাদের আপতন-কোণ অধিকাংশ ক্ষেত্রে আনুষঙ্গিক সঙ্কট-কোণ অপেক্ষা অধিক হয়। সুতরাং প্রতি তলেই পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন সংঘটিত হয় এবং তলগুলি চক্‌চকে দেখায়।

(3) **স্বচ্ছ কাচের সার্শির ফাটলের উজ্জ্বলতা**—ঘরের মধ্য হইতে সার্শির ফাটলের দিকে সুবিধামতো স্থানে চক্ষু রাখিলে ঐ ফাটলটি উজ্জ্বল দেখায়। ঐ ফাটলের মধ্যে বায়ুর একটি পাতলা স্তর অবস্থান করে। সুতরাং বাহির হইতে আগত রশ্মি যখন তির্যক্‌ভাবে কাচের উপর আপতিত হইয়া ফাটল অভিমুখে চালিত হয় তখন কাচ এবং বায়ু-স্তরের বিভেদ-তলে উহার পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ঘটে। সুতরাং ঐ বিভেদ-তলটি উজ্জ্বল দেখায়।

4·13. মরীচিকা (Mirage)ঃ আলোকের পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের ফলে এই প্রাকৃতিক বিভ্রান্তিকর দৃশ্য মরুভূমি অঞ্চলে এবং শীতপ্রধান মেরু অঞ্চলে অনেক-সময় পরিলক্ষিত হয়।

মরুভূমি অঞ্চলের মরীচিকা—ইহাকে ইংরাজীতে বলা হয় 'Inferior Mirage'। মরুভূমি অঞ্চলে পথচারী দূরে অবস্থিত গাছপালার উল্‌টা ছবি দেখিয়া মনে করে উহা জলাশয়ের জলে প্রতিফলিত গাছপালার উল্‌টা প্রতিবিম্ব। বস্তুতঃ ইহা পথচারীর ভুল ধারণা। মরুভূমি-পৃষ্ঠের সন্নিহিত বিভিন্ন বায়ু-স্তরে আলোকের পর পর প্রতিসরণ ও পরিশেষে পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের ফলে এই উল্‌টা প্রতিবিম্ব সংগঠিত হয়। পথচারী অজ্ঞতাবশতঃ জলাশয়ের কাছে পৌছাইতে পারিবে মনে করিয়া উৎসাহের সহিত এই উল্‌টা প্রতিবিম্বের দিকে অগ্রসর হইতে থাকে। কিন্তু তাহার এ আশা কখনও পূর্ণ হয় না।

ব্যাখ্যাঃ মরুভূমি অঞ্চলে পৃথিবীপৃষ্ঠের বালুকারাশি সূর্যের তাপে অত্যধিক উত্তপ্ত হয়। সুতরাং ঐ স্থানের বায়ুমণ্ডল বিভিন্ন ঘনত্বের বায়ু-স্তরে যেন বিভক্ত, এইরূপ কল্পনা করা হইয়া থাকে। এই কল্পিত স্তরগুলির সর্বনিম্ন স্তর সর্বাধিক উত্তপ্ত হওয়ায় উহার ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা কম এবং অপরাপর স্তরগুলি যত উর্ধ্বে অবস্থিত উহার ঘনত্ব তত অধিক বিবেচিত হইয়া থাকে। পর পর সাজানো এই স্তরগুলি রেখা-অঙ্কনে 4R চিত্রে দেখানো হইয়াছে।



চিত্র 4R

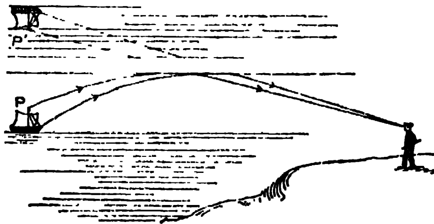
চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, দূরে অবস্থিত কোন গাছ হইতে আলোকরশ্মি সরাসরি দর্শকের চক্ষুতে প্রবেশ করিতে পারে না। মনে কর, P হইতে আগত রশ্মি এই বিভিন্ন বায়ু-স্তর ভেদ করিয়া চালিত হইতেছে। এই রশ্মি ক্রমাগত ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হওয়ার ফলে, উহা প্রতি বিভেদ-তলের আনুষঙ্গিক অভিলম্ব হইতে দূরে বাঁকিয়া যায় এবং ক্রমাগত বর্ধিত কোণে বিভেদ-তলগুলিতে আপতিত হইতে থাকে। শেষপর্যন্ত ঐ রশ্মি, মনে কর, 'O' বিন্দুতে এমন কোণে আপতিত হয় যাহার পরিমাণ আনুষঙ্গিক বায়ু-স্তরের সঙ্কট-কোণ অপেক্ষা অধিক। তখন ঐ রশ্মির আর নীচের বায়ু-স্তরে প্রতিসরণ না হইয়া পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন হইয়া থাকে এবং উহা উপরের দিকে চালিত হয় ও ক্রমাগত লঘুতর মাধ্যম হইতে ঘনতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হইতে থাকে। সুতরাং, এখন প্রতিবার প্রতিসরণের সময় ঐ রশ্মি বিভেদ-তলের আনুষঙ্গিক অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া আসে।

পরিশেষে উহা দর্শকের চক্ষুতে প্রবেশ করে এবং দর্শক মনে করে উহা যেন নীচের দিকে অবস্থিত P' বিন্দু হইতে আসিতেছে।

অনুরূপভাবে চিত্রে দর্শিত গাছটির ভিন্ন ভিন্ন স্থানের অসদ্‌বিম্ব সংগঠিত হইয়া থাকে এবং দর্শক সামগ্রিকভাবে গাছের উল্‌টা প্রতিবিম্ব দেখিয়া মনে করে উহা জলে প্রতিফলিত প্রতিবিম্ব।

মেরু অঞ্চলের মরীচিকা—ইহাকে ইংরাজীতে বলা হয় 'Superior Mirage'। শীতপ্রধান মেরু অঞ্চলে অনেকসময় দেখা যায় সমুদ্রে ভাসমান জাহাজ যেন আকাশে উল্‌টাভাবে ঝুলিয়া রহিয়াছে। ইহা সত্যই বিভ্রান্তিকর দৃশ্য। আলোকের প্রতিসরণ ও পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের ফলে এইপ্রকারের বিভ্রান্তিকর দৃশ্য পরিলক্ষিত হইয়া থাকে।

4S চিত্রে সমুদ্রে ভাসমান জাহাজের আকাশে উল্‌টাভাবে ঝুলানো ছবি-সংগঠন দেখানো হইল।

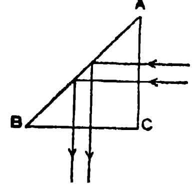


চিত্র 4S

ব্যাখ্যা ঃ মেরু অঞ্চলের সমুদ্রের জল অত্যধিক শীতল থাকায় ঐ স্থানের বায়ু, স্তরভেদে, বিভিন্ন উষ্ণতায় থাকে। সর্বনিম্ন বায়ু-স্তরটি সমুদ্রজলের শীতলতায় সর্বাধিক শীতল হওয়ায় উহার ঘনত্ব সর্বাধিক এবং অন্যান্য বায়ু-স্তর সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে যত উর্ধ্বে অবস্থান করে উহার ঘনত্ব তত কম হইয়া থাকে। সুতরাং এই কল্পিত বায়ু-স্তরগুলির ব্যবস্থাপন পূর্ববর্ণিত মরুভূমির বায়ু-স্তরগুলির ব্যবস্থাপনের বিপরীত ধরা হয়।

এই হিসাবে, দূরে জাহাজ হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ (চিত্র দেখ) বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তর ভেদ করিবার কালীন প্রথমতঃ ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হইতে থাকে। ইহার ফলে আপতন-কোণের পরিমাণ ক্রমাগত বৃদ্ধি পাইতে থাকে এবং শেষপর্যন্ত কোন বিভেদ-তলে ঐ রশ্মিগুচ্ছের আপতন-কোণ আনুষঙ্গিক সঙ্কট-কোণ অপেক্ষা অধিক হওয়ায় উহার পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন হয়। অতঃপর এই আভ্যন্তরীণ প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ পুনরায় উপর হইতে নীচের দিকে লঘুতর মাধ্যম হইতে ঘনতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হওয়ায় উহা প্রত্যেক বিভেদ-তলের আনুষঙ্গিক অভিলম্বের দিকে ক্রমাগত বাঁকিয়া আসে এবং পরিশেষে দর্শকের চক্ষুতে প্রবেশ করে এবং চক্ষু দেখিতে পায় ঐ রশ্মিগুচ্ছ যেন উল্‌টাভাবে আকাশে ঝুলানো জাহাজ হইতে আসিতেছে (চিত্র দেখ)।

4·14. পূর্ণ-প্রতিফলক প্রিজ্‌ম্ (Total Reflecting Prism) : ইহা আলোকের পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের ব্যবহারিক প্রয়োগ হিসাবে পরিগণিত হইয়া থাকে। 4T চিত্রে, ABC নির্দেশ করে একটি সমকোণ সহ সমদ্বিবাহু কাচের প্রিজ্‌ম্। উহার AC এবং BC বাহুদ্বয় পরস্পর সমান এবং C কোণটি সমকোণ (90°)। সুতরাং অপর দুইটি কোণ A এবং B-এর প্রত্যেকটির পরিমাণ 45°। এই প্রিজ্‌ম্‌টিকে একটি সমতল প্রতিফলক হিসাবে কার্যতঃ ব্যবহার করা হয়।



চিত্র 4T

কার্যপদ্ধতি—মনে কর, প্রিজ্‌ম্‌টির AC তলের উপর বাহিরের একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি অভিলম্বভাবে আপতিত হইয়াছে (চিত্রে দেখ)। সুতরাং ঐ রশ্মিগুচ্ছের প্রত্যেকটি রশ্মি সোজাসুজিভাবে কাচের মধ্যে চালিত হইয়া AB তলের উপর 45° কোণে আপতিত হইবে। আমরা জানি, বায়ু-সাপেক্ষে কাচের সঙ্কট-কোণ 41°। সুতরাং ঐ রশ্মিগুলি AB তলে সঙ্কট-কোণ অপেক্ষা অধিক কোণে আপতিত হইয়া থাকে এবং উহারা কাচের অভ্যন্তরে পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইয়া BC তলের উপর অভিলম্বে আপতিত হয় এবং সোজাসুজিভাবে বাহিরে চলিয়া আসে।

সুতরাং এক্ষেত্রে, প্রিজ্‌মের AB তলটি একটি সমতল প্রতিফলকের কার্য করে। যদি আলোকের পথে ঐ প্রিজ্‌ম্‌টি না বসাইয়া AB রেখায় একটি সমতল সাধারণ দর্পণ বসানো হইত তাহা হইলে অনুরূপভাবেই আলোকরশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত হইত। কাজেই এইপ্রকারের প্রিজ্‌ম্‌কে আমরা বলিয়া থাকি পূর্ণ-প্রতিফলক প্রিজ্‌ম্ (Total Reflecting Prism)।

স্মরণ রাখিতে হইবে, এই পূর্ণ-প্রতিফলক প্রিজ্‌ম্‌টি সাধারণ দর্পণের পরিবর্তে নিম্নলিখিত কারণে বহুক্ষেত্রেই সুবিধাজনকভাবে ব্যবহৃত হয় :

(i) সাধারণ দর্পণে প্রতিফলক-তল ধাতব-প্রলেপিত থাকে। সুতরাং কিছুদিন ব্যবহার করার পর রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে উহা মলিন হইয়া যায়। কিন্তু প্রিজ্‌ম্‌টির প্রতিফলন-তল ঐপ্রকারের মলিন হওয়ার কোন আশঙ্কা থাকে না।

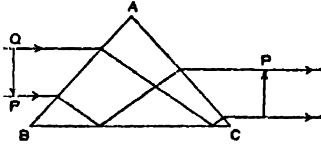
(ii) সাধারণ দর্পণের উভয় তল হইতেই যুগপৎ আলোকের প্রতিফলন এবং প্রতিসরণ হওয়ায় প্রতিবিম্ব তেমন সুস্পষ্ট হইতে পারে না। কিন্তু প্রিজ্‌ম্-প্রতিফলকের ক্ষেত্রে আলোক শুধু একটি তলেই প্রতিফলিত হওয়ায় প্রতিবিম্ব সুস্পষ্ট দেখায়।

(iii) সাধারণ দর্পণের ধাতব-প্রলেপিত প্রতিফলক-তল সম্পূর্ণভাবে মসৃণ করা সম্ভব নহে। কাজেই কিছুটা আলো ইতস্ততঃ বিক্ষিপ্ত হয়। ইহার ফলে আনুষঙ্গিক

প্রতিফলিত আলোকবিম্ব প্রিজ্‌ম্‌-প্রতিফলকে প্রতিফলিত বিম্বের তুলনায় অপেক্ষাকৃত কম উজ্জ্বল হয়।

(iv) প্রিজ্‌মে আপতিত আলোকের বিশোষণ (absorption) সাধারণ দর্পণের তুলনায় খুব কম হয়। একারণে প্রিজ্‌ম্‌ দ্বারা প্রতিফলিত প্রতিবিম্ব বেশী উজ্জ্বল হয়। প্রিজ্‌ম্‌-প্রতিফলকে উপরোক্ত সুবিধা থাকায় অনেক ক্ষেত্রে আলোক-সংক্রান্ত যন্ত্রপাতিতে (optical instruments) সাধারণ সমতল দর্পণ ব্যবহার না করিয়া ঐপ্রকারের প্রিজ্‌ম্‌-প্রতিফলক ব্যবহার করা হয়।

4·15. উল্‌টা প্রতিবিম্বকে খাড়া করিবার প্রিজ্‌ম্‌ (Erecting Prism) : কোন উল্‌টা প্রতিবিম্বকে খাড়া করিতে হইলে, 4·14 অনুচ্ছেদে বর্ণিত প্রিজ্‌ম্‌টিকে ব্যবহার করা চলে। আলোকের পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের সাহায্যেই এক্ষেত্রেও উল্‌টা প্রতিবিম্বকে খাড়া করা হয়।



চিত্র 4U

4U চিত্রে, ABC ত্রিভুজ দ্বারা ঐ সমকোণ-সহ সমদ্বিবাহু প্রিজ্‌ম্‌টিকে দেখানো হইল। এক্ষেত্রে প্রিজ্‌ম্‌টির সমকোণ A দ্বারা চিহ্নিত হইল। সুতরাং অপর দুইটি কোণ B এবং C প্রত্যেকটিই 45°। চিত্রে প্রদর্শিত AB তলের সম্মুখে অবস্থিত তীর-চিহ্নিত QP রেখাটি নির্দেশ করে একটি উল্‌টা প্রতিবিম্ব। এখন মনে কর, P এবং Q বিন্দু হইতে দুইটি সমান্তরাল রশ্মি AB তলে আপতিত হইয়াছে। এক্ষেত্রে যেহেতু আলোকরশ্মি বাতাস হইতে কাচে প্রবেশ করে, সুতরাং ঐ আপতিত সমান্তরাল রশ্মি কাচের মধ্যে নিম্নদিকে প্রতিসৃত হইয়া BC তলের উপর আপতিত হয়। চিত্রদৃষ্টে ইহা সুস্পষ্ট যে, BC তলের আপতিত রশ্মির আপতন-কোণ কাচের সঙ্কট-কোণ (41°) অপেক্ষা অধিক। সুতরাং ঐ রশ্মিগুলি কাচের অভ্যন্তরে পূর্ণ-প্রতিফলিত হইয়া সমান্তরালভাবে AC তলে আপতিত হয় এবং শেষপর্যন্ত উহারা পুনরায় বাতাসে সমান্তরালভাবে প্রতিসৃত হয়। এক্ষেত্রে QP প্রতিবিম্বের P বিন্দু হইতে আগত রশ্মিটি উপরদিকে উঠিয়া গিয়াছে এবং Q হইতে আগত রশ্মিটি নীচের দিকে নামিয়া আসিয়াছে। সুতরাং, AC তলের বাহিরে পূর্ববর্ণিত উল্‌টা প্রতিবিম্বটি খাড়াভাবে অবস্থান করিবে। প্রিজ্‌ম্‌টির এইপ্রকারে ব্যবহারকালে উহাকে 'Erecting prism' বলা হয়। দূরবীক্ষণ, পেরিস্কোপ ইত্যাদি যন্ত্রে উল্‌টা ছবি খাড়া করিবার জন্য এইপ্রকারের প্রিজ্‌ম্‌ ব্যবহার করা হয়।

বিভিন্ন পদার্থের প্রতিসরাঙ্কের তালিকা

পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক (R.I.)	পদার্থ	প্রতিসরাঙ্ক (R.I.)
হীরা (Diamond)	2·6	কোহল (Alcohol)	1·37
ফ্লিণ্ট কাচ (Flint glass)	1·62	জল (Water)	1·33
ক্রাউন কাচ (Crown glass)	1·53	গ্লিসারিন (Glycerine)	1·47
Canada balsam	1·53	বাতাস (Air)	1·00029
তারপিন তেল (Turpentine)	1·47	হাইড্রোজেন (Hydrogen)	1·00014

সারাংশ

এক মাধ্যম হইতে অন্য এক মাধ্যমে আলোকরশ্মির ভিন্ন পথে সরলরেখায় গমনকে আমরা বলিয়া থাকি আলোকের প্রতিসরণ। আলোকের প্রতিসরণের জন্য জলে নিমজ্জিত মুদ্রার আপাত উত্থান হয়, জলে আংশিক নিমজ্জিত দণ্ড বাঁকিয়া গিয়াছে বলিয়া প্রতীয়মান হয়, সূর্যোদয় এবং সূর্যাস্তের সময় সূর্যকে উহার প্রকৃত অবস্থান হইতে উঁচুতে দেখায়, ইত্যাদি।

প্রতিসরণের নিয়ম—(1) আপতিত রশ্মি, বিভাগ-তলের আপতন-বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব এবং প্রতিসৃত রশ্মি একই সমতলে অবস্থান করে। (2) যদি 'i' ধরা হয় আপতন-কোণ এবং 'r' ধরা হয় আনুষঙ্গিক প্রতিসরণ-কোণ, তাহা হইলে, $\frac{\sin i}{\sin r}$ = ধ্রুবক (μ)।

এই ধ্রুবকটিকে (μ) বলা হয় প্রথম-মাধ্যম-সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক। a এবং b অক্ষর দ্বারা দুইটি মাধ্যমকে চিহ্নিত করিলে $_a\mu_b$-কে বলা হয় a-মাধ্যম-সাপেক্ষে b-মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এবং $_b\mu_a$-কে বলা হয় b-মাধ্যম-সাপেক্ষে a-মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এবং $_a\mu_b = \frac{1}{_b\mu_a}$।

হার্টল-এর আলোক-চাকৃতি ও পিন-পদ্ধতি দ্বারা আলোকের প্রতিসরণের নিয়ম দুইটির যথার্থতা প্রমাণ করা যায়।

সঙ্কট-কোণ—ঘনতর মাধ্যমে আলোকরশ্মির আপতন-কোণের ক্রমাগত বৃদ্ধির ফলে যখন উহার আনুষঙ্গিক প্রতিসৃত কোণ শেষপর্যন্ত 90° ডিগ্রীতে পৌঁছায় তখন

এই 90° ডিগ্রী প্রতিসৃত কোণের আনুষঙ্গিক আপতন-কোণকে বলা হয় লঘুতর মাধ্যম-সাপেক্ষে ঘনতর মাধ্যমের সঙ্কট-কোণ।

আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন—ঘনতর মাধ্যমে আলোকরশ্মির আপতন-কোণ যখন সঙ্কট-কোণ অপেক্ষা অধিক হয় তখন আলোকরশ্মির পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন হয়।

সঙ্কট-কোণ (θ) এবং প্রতিসরাঙ্ক (μ)—এই উভয়ের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক, $\mu = \frac{1}{\sin \theta}$।

আলোকরশ্মির প্রতিসরণ ও পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের ফলে মরুভূমিতে এবং শীতপ্রধান মেরু অঞ্চলে যে বিভ্রান্তিকর দৃশ্য পরিলক্ষিত হয়, উহাকে মরীচিকা বলা হয়। প্রতিফলক প্রিজ্‌ম্‌-এ এবং উল্‌টা প্রতিবিম্বের সোজা-করা প্রিজ্‌ম্‌-এ পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের ব্যবহারিক প্রয়োগ পরিলক্ষিত হয়।

প্রশ্নমালা

1. আলোকের প্রতিসরণ বলিতে কি বোঝ? উপযুক্ত চিত্রের সাহায্যে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি ব্যাখ্যা কর :—

(i) জলে আংশিক নিমজ্জিত একটি দণ্ডের দিকে তির্যক্‌ভাবে তাকাইলে উহা বাঁকিয়া গিয়াছে বলিয়া বোধ হয়।

(ii) পুষ্করিণীর দিকে তাকাইলে উহা অপেক্ষাকৃত কম গভীর মনে হয়।

(iii) কোন পাত্রে একটি মুদ্রা এমনভাবে রাখা হইল যে, পার্শ্বের দিক হইতে তাকাইলে মুদ্রাটি দেখা যায় না; কিন্তু পাত্রে জল ঢালিলে ঐ মুদ্রাটি দেখা যায়।

(iv) অস্তগামী সূর্য দিগন্তরেখার নীচে থাকিলেও দেখিতে পাওয়া যায়।

[What do you mean by refraction of light? Explain the following with the aid of diagrams :—

(i) A stick immersed partly in water and viewed obliquely appears to be bent at the surface of water.

(ii) Ponds appear shallower than they are.

(iii) A coin placed in a basin is hidden from view by the side of the vessel. When water is poured in it, the coin just comes into view.

(iv) A setting sun can be seen when it is already below the horizon.]

2. আলোকের প্রতিসরণের সূত্রগুলি বিবৃত কর এবং পরীক্ষার সাহায্যে উহাদের যথার্থতা কিরূপে প্রমাণ করা যায় তাহা বর্ণনা কর। [State the laws of refraction of light. Describe how they are verified experimentally.]

3. (ক) প্রতিসরাঙ্ক বলিতে কি বুঝায় তাহা ব্যাখ্যা কর।

(খ) "বাতাস হইতে কাচে আলোক প্রতিসৃত হইলে, কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5"—এই উক্তিটির ব্যাখ্যা কর।

(গ) দুইটি মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞা দাও।

[(a) Explain what is meant hy 'refractive index'.

(b) Explain the statement—the refractive index for light passing from air to glass is 1·5.

(c) Define the relative refractive index of two media.]

4. তোমাকে আয়তাকার একটি কাচের ফলক এবং কয়েকটি আলপিন দেওয়া হইল। উহাদের সাহায্যে প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র কি প্রকারে প্রমাণ করিবে এবং কাচের প্রতিসরাঙ্ক কি ভাবে নির্ণয় করিতে পারিবে তাহা ছবি আঁকিয়া বুঝাইয়া দাও। [You are given a rectangular block of glass and pins. Explain with the aid of a diagram how you would proceed to verify the second law of refraction of light and determine the refractive index of glass.]

5. কোন কাচ-ফলকের মধ্য দিয়া একটি বস্তুর দিকে সোজাসুজিভাবে তাকাইলে ঐ বস্তুর প্রকৃত দূরত্ব এবং আপাত দূরত্বের মধ্যে যে সম্পর্ক তাহা নির্ণয় কর।

একটি কাচ-ফলকের বেধ 10 cm. এবং উহার প্রতিসরাঙ্ক 1·5। ঐ কাচ-ফলকের তলদেশে অবস্থিত একটি 'dot' চিহ্নকে ফলকের উপর হইতে দেখিলে 'dot' চিহ্নটির যে পরিমাণ আপাতসরণ হইবে তাহা নির্ণয় কর।

[Deduce the relation between real and apparent positions of an object seen normally through a block of glass.

If the thickness of a block of glass is 10 cms. and its R.I. is 1·5, find the apparent displacement of a 'dot' from the bottom of the block.] [*Ans.* 3·33 cms.]

6. একখণ্ড কাচ-ফলকের মধ্যে উহার উপরের সমতলপৃষ্ঠ হইতে 3" দূরে একটি বাতাসের বুদ্‌বুদ্ অবস্থিত আছে। ঐ ফলকটির উপরতল হইতে 8" দূরে চক্ষু স্থাপন করিলে বুদ্‌বুদটি চক্ষুতে কতদূরে অবস্থিত মনে হইবে তাহা নির্ণয় কর। (কাচের

প্রতিসরাঙ্ক = $\frac{3}{2}$) [A small air-bubble inside a block of glass with a plane surface is 3 inches below the surface ; find its apparent distance from an eye looking at it along a normal to the surface, from a point 8 inches from the surface. (R.I. from air to glass = $\frac{3}{2}$)]

[*Ans.* 10 inches]

7. কোন মোটা, সমতল দর্পণের সম্মুখে একটি উজ্জ্বল বস্তু রাখিলে উহার একাধিক প্রতিবিম্ব কিরূপে সংগঠিত হয় তাহা চিত্রাঙ্কনের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। [Explain how a number of images is visible when a bright object is held in front of a thick mirror silvered at the back. Illustrate your answer by a neat diagram for a given position of the eye.]

8. (ক) 'সঙ্কট-কোণ' এবং 'পূর্ণ আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন' কথা দুইটির ব্যাখ্যা কর।

(খ) "কাচের সঙ্কট-কোণের পরিমাণ 42°"—এই উক্তিটির ব্যাখ্যা কর।

(গ) সঙ্কট-কোণ এবং প্রতিসরাঙ্ক—এই উভয়ের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক অঙ্কে নির্ণয় কর।

(ঘ) বেনজিনের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হইলে, উহার আনুষঙ্গিক সঙ্কট-কোণের পরিমাণ নির্ণয় কর।

[(a) Explain the terms 'Critical angle' and 'Total internal reflection'.

(b) Explain the statement—"The critical angle for glass is 42°".

(c) Obtain a relation between the critical angle and the refractive index.

(d) If the refractive index of Benzene is 1·5, what is the value of the critical angle ?] [*Ans.* 41°· 8]

9. মরীচিকার কিরূপে সৃষ্টি হয় তাহা চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া বর্ণনা কর। [Describe and explain with the help of a diagram the phenomenon of mirage.]

10. পূর্ণ-প্রতিফলক প্রিজ্‌মের কার্যপদ্ধতি এবং ব্যবহার বুঝাইয়া দাও। [Explain the working and use of a total reflecting prism.]

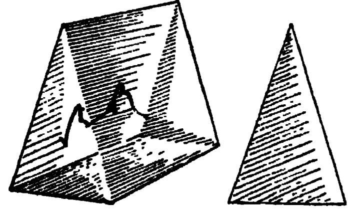
পঞ্চম পরিচ্ছেদ

প্রিজ্‌মে আলোকের প্রতিসরণ

5.1. প্রিজ্‌ম্ (Prism) ঃ

কোন স্বচ্ছ মাধ্যম পরস্পর আনত তুইটি সমতলপৃষ্ঠ-বেষ্টিত হইলে উহাকে প্রিজ্‌ম্ বলা হয়। সচরাচর কাচের যে প্রিজ্‌ম্ ব্যবহার করা হয় উহার নমুনা 5A(i) চিত্রে দেখানো হইল।

চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, উহার তুই পাশ ও নীচের দিক পরস্পর আনত আয়তাকার সমতল-পৃষ্ঠ-বেষ্টিত এবং সম্মুখ ও পিছনের দিক সমতল-ত্রিভুজ-আকৃতিবিশিষ্ট। সাধারণতঃ ত্রিভুজ-অঙ্কনে এইপ্রকারের প্রিজ্‌ম্ নির্দেশিত হইয়া থাকে [5A(ii) চিত্র দেখ]। আয়তাকার পৃষ্ঠ তিনটির ছেদরেখা কয়টি পরস্পর সমান্তরাল এবং উহাদের বলা হয় **প্রিজ্‌মের প্রান্ত** (edge of the prism)।



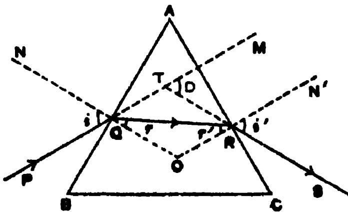
(i) (ii)

চিত্র 5A

প্রিজ্‌ম্-সংক্রান্ত কয়েকটি শব্দের (terms) সংজ্ঞা ঃ

(a) **প্রিজ্‌মের প্রতিসারক তল বা পৃষ্ঠ** (Refracting faces)—প্রিজ্‌মের যে আনত পৃষ্ঠে আলোকরশ্মি আপতিত হইয়া প্রিজ্‌মের অভ্যন্তরে প্রতিসৃত হয় এবং যে আনত পৃষ্ঠে ঐ প্রতিসৃত রশ্মি পুনরায় প্রতিসৃত হইয়া বাহির হইয়া আসে, উহাদিগকে যুক্তভাবে বলা হয় প্রিজ্‌মের প্রতিসারক তল।

5B চিত্রে *AB* ও *AC* নির্দেশ করে এই প্রতিসারক তল তুইটি। উহাদের মধ্যে *AB* নির্দেশ করে আপতন-পৃষ্ঠ বা তল (Incident face) এবং *AC* নির্দেশ করে নির্গমন-তল বা পৃষ্ঠ (Emergent face)।



চিত্র 5B

(b) **প্রিজ্‌মের কোণ বা প্রতিসারক কোণ** (Angle of the prism or Refracting angle of the prism)—প্রতিসারক পৃষ্ঠ তুইটি পরস্পরের সহিত যে কোণে আনত থাকে, উহাকে বলা হয় প্রতিসারক কোণ। 5B চিত্রের *BAC* কোণ (অর্থাৎ সংক্ষেপে $\angle A$) নির্দেশ করে এই প্রতিসারক কোণ।

(c) **প্রিজ্‌মের প্রধান ছেদ** (Principal section of the prism)—প্রিজ্‌মের প্রতিসারক পৃষ্ঠদ্বয়ের অভিলম্বে বিবেচিত তল দ্বারা প্রিজ্‌মটি কর্তিত হইলে যে ছেদ-তলের সৃষ্টি হয়, উহাকে বলা হয় প্রিজ্‌মের প্রধান ছেদ। 5B চিত্রে ABC তল নির্দেশ করে প্রিজ্‌মের প্রধান ছেদ। এক্ষেত্রে উহা ত্রিভুজ-আকৃতি-বিশিষ্ট। প্রিজ্‌মে আলোকের প্রতিসরণ আলোচনাকালে আমরা ধরিয়া লইব যে, আলোকরশ্মি এই প্রধান ছেদের সমতলে অবস্থান করে।

(d) **প্রিজ্‌মের ভূমি** (Base of the prism)—প্রিজ্‌মের প্রান্তের বিপরীত দিকে অবস্থিত তলকে বলা হয় প্রিজ্‌মের ভূমি। আলোচ্য প্রিজ্‌মের ক্ষেত্রে, ABC ত্রিভুজের ভূমি BC নির্দেশ করে প্রিজ্‌মের ভূমি।

5·2. প্রিজ্‌মে আলোকরশ্মির প্রতিসরণ :

রশ্মিরেখা-অঙ্কনে (Ray diagram) এই প্রতিসরণ বুঝানো হইল। মনে কর, প্রিজ্‌মটি কাচনির্মিত এবং উহা লঘুতর মাধ্যমে (বাতাসে) অবস্থান করে। 5B চিত্র অনুযায়ী ABC নির্দেশ করে আলোচ্য প্রিজ্‌মের প্রধান ছেদ। বাতাসে অবস্থিত PQ রশ্মি প্রিজ্‌মের AB তলের Q বিন্দুতে আপতিত হইয়াছে। যেহেতু এক্ষেত্রে, আলোকরশ্মি লঘুতর মাধ্যম (বাতাস) হইতে ঘনতর মাধ্যমে (কাচে) প্রতিসৃত হইতেছে, সুতরাং PQ-এর আনুষঙ্গিক QR প্রতিসৃত রশ্মি NQO অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া প্রিজ্‌মের মধ্যে চালিত হয়। এই প্রতিসৃত রশ্মি AC তলের R বিন্দুতে আপতিত হইয়া পুনরায় বাতাসে প্রতিসৃত হয়। যেহেতু দ্বিতীয়বার প্রতিসরণকালে আলোকরশ্মি কাচ (ঘনতর মাধ্যম) হইতে বাতাসে (লঘুতর মাধ্যমে) প্রতিসৃত হয়, সুতরাং আনুষঙ্গিক প্রতিসৃত RS রশ্মি $N'RO$ অভিলম্ব হইতে দূরে বাঁকিয়া নির্গত হইয়া থাকে।

এক্ষেত্রে, $PQRS$ রেখা নির্দেশ করে প্রিজ্‌মে প্রতিসৃত আলোকরশ্মির সামগ্রিক গতিপথ। এই পথের PQ অংশ নির্দেশ করে আপতিত রশ্মি, QR অংশ নির্দেশ করে প্রিজ্‌মের অভ্যন্তরে প্রতিসৃত রশ্মি এবং RS অংশ নির্দেশ করে বাতাসে নির্গত রশ্মি। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, এই RS রশ্মি প্রিজ্‌মের ভূমি BC-এর দিকে বাঁকিয়া বাতাসে নির্গত হইয়া থাকে।

চিত্রে দর্শিত $\angle i$ নির্দেশ করে আপতন-কোণ, $\angle r$ নির্দেশ করে প্রতিসরণ-কোণ, $\angle i'$ নির্দেশ করে নির্গম-কোণ (Angle of emergence) এবং $\angle D$ নির্দেশ করে চ্যুতি-কোণ বা বিসরণ-কোণ (Angle of deviation)। এই চ্যুতি-কোণ দ্বারা নির্দেশিত হয় প্রিজ্‌মে আলোকের গতিপথের সামগ্রিক বিচ্যুতি।

5·3. চ্যুতি-কোণের পরিমাণ নির্ণয় এবং উহার সহিত আপতন-কোণের সম্পর্ক নির্দেশ ঃ

5B চিত্র অনুযায়ী—

প্রিজ্‌ম্‌-কোণ $A = \angle QAR$,

আপতন-কোণ $\angle PQN = i$,

প্রতিসরণ-কোণ $\angle RQO = r$,

নির্গম-কোণ $\angle SRN' = i'$

এবং চ্যুতি-কোণ $\angle STM = D = QRT$ ত্রিভুজের বহিঃকোণ।

এক্ষেত্রে, QRT ত্রিভুজের বহিঃকোণ, $D = \angle TQR + \angle QRT$

$$= (i - r) + (i' - r')$$
$$= i + i' - (r + r').$$

এখন, চিত্রের $AQOR$ চতুর্ভুজটির $\angle AQO$ এবং $\angle ARO$ প্রত্যেকটি সমকোণ (90°)। সুতরাং, $\angle QAR + \angle QOR = 180°$

অর্থাৎ সংক্ষেপে, $\angle A + \angle O = 180°$.

চিত্রের QOR ত্রিভুজটির $\angle RQO + \angle QOR + \angle ORQ = 180°$

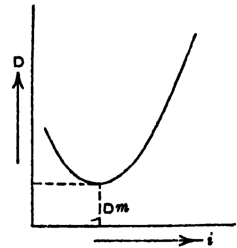
অর্থাৎ সংক্ষেপে, $\angle r + \angle O + \angle r' = 180°$.

সুতরাং, $r + r' = A$ (প্রিজ্‌মের প্রতিসারক কোণ)।

অতএব, $D = i + i' - A$.

লেখ-সাহায্যে D এবং i-এর সম্পর্ক নির্ণয়—কোন নির্দিষ্ট প্রিজ্‌মের ক্ষেত্রে প্রিজ্‌মের কোণ A ধ্রুবক। নির্গম-কোণ i'-এর মান নির্ভর করে i-এর মানের উপর। সুতরাং উপরের নির্ণীত সমীকরণের D নির্ভর করে i-এর মানের উপর।

এখন, উপযুক্ত ছক-কাগজে (Graph-paper) পরস্পর সমকোণে দুইটি রেখা অঙ্কিত কর। ঐ রেখা দুইটির ভুজে আপতন-কোণের মান এবং কোটিতে আনুষঙ্গিক চ্যুতি-কোণের মান নির্দেশ করিয়া যে লেখ অঙ্কন করা হয়, উহা 5C চিত্রে দেখানো হইল। এই লেখটিকে বলে, 'D—i' লেখ।



চিত্র 5C

চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, প্রথম অবস্থায় i-এর মান-বৃদ্ধির সঙ্গে D-এর মান ক্রমশঃ কমিয়া সর্বনিম্ন মানে আসিয়া পৌঁছায়। অতঃপর i-এর মানের বৃদ্ধির সঙ্গে D-এর

মানেরও বৃদ্ধি পায়। D-এর সর্বনিম্ন মানকে বলা হয় প্রিজ্‌মের ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ (Angle of minimum deviation)। ইহা D_m দ্বারা নির্দেশিত হইল।

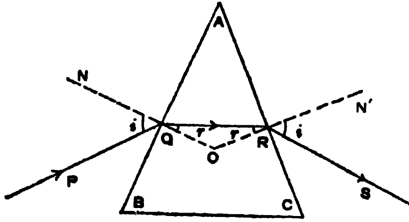
5·4. ফরমুলায় প্রিজ্‌ম্-উপাদানের (Material of the Prism) প্রতিসরাঙ্কের প্রকাশ :

পূর্বনির্ণীত সমীকরণ অনুযায়ী,

$$D = i + i' - A.$$

এখন, পরীক্ষার সাহায্যে এবং গাণিতিক বিবেচনায় দেখা যায় প্রিজ্‌মের ন্যূনতম চ্যুতিতে অবস্থানের ফলে $i = i'$,

সুতরাং, $r = r'$ (5D চিত্র দেখ)



চিত্র 5D

এবং, $D = 2i - A = D_m$ (ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ)

অথবা, $i = \frac{D_m + A}{2}$.

আবার, পূর্বেই প্রমাণিত হইয়াছে,

$$r + r' = A.$$

সুতরাং এক্ষেত্রে, $2r = A$

অথবা, $r = \frac{A}{2}$.

এখন প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞা অনুযায়ী,

প্রিজ্‌ম্-উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin\left(\frac{D_m + A}{2}\right)}{\sin \frac{A}{2}}$.

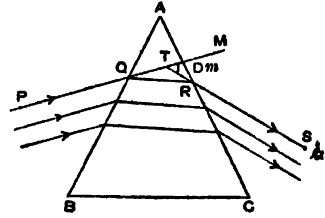
সুতরাং, প্রিজ্‌ম্-কোণ ও ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ পরীক্ষার সাহায্যে নির্ণয় করিয়া প্রিজ্‌ম্-উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নিরূপণ করা সম্ভব হয়।

5·5. পিন-পদ্ধতিতে প্রিজ্‌ম্-উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় : এই পদ্ধতি দুইটি অংশে বিভক্ত ; যথা—(a) পরীক্ষাধীন প্রিজ্‌মের প্রতিসারক কোণ নির্ণয় এবং (b) উহার ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ নির্ণয়।

প্রতিসারক কোণ A (মনে কর) এবং ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ D_m (মনে কর)

নির্ণীত হইলে, পূর্ববর্ণিত 5·4 অনুচ্ছেদের সমীকরণ, $\mu=\dfrac{\sin\dfrac{(A+D_m)}{2}}{\sin\dfrac{A}{2}}$ হইতে প্রিজ্‌ম্-উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা হইয়া থাকে।

প্রতিসারক কোণ নির্ণয়—ড্রইংবোর্ডে আঁটা একখণ্ড সাদা কাগজের মাঝামাঝি স্থানে পরীক্ষাধীন *ABC* প্রিজ্‌মটি স্থাপন কর। এক্ষেত্রে, মনে কর, *AB* নির্দেশ করে আপতন-তল এবং *AC* নির্দেশ করে নির্গমন-তল। সুতরাং উহাদের অন্তর্বর্তী *BAC* কোণ, অর্থাৎ '*A*' কোণ নির্দেশ করে প্রিজ্‌মটির প্রতিসারক কোণ (5E চিত্র দেখ)।



চিত্র 5E

এখন প্রিজ্‌মটির সীমারেখা অঙ্কিত করিয়া উহা সরাইয়া লও এবং চাঁদার সাহায্যে প্রতিসারক কোণ '*A*' নির্ণয় কর।

ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ নির্ণয়—5E চিত্রের *ABC* ত্রিভুজের *A* শীর্ষবিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া সুবিধামতো ব্যাসার্ধের বৃত্তাংশ অঙ্কিত কর। এই বৃত্তাংশ, *AB* ও *AC* বাহু দুইটিকে *Q* ও *R* বিন্দুতে ছেদ করে। এখন পুনরায় প্রিজ্‌মটিকে পূর্বের অঙ্কিত সীমারেখায় উপর বসাও এবং *Q* ও *R* বিন্দুতে দুইটি আলপিন বোর্ড-বিদ্ধ করাইয়া খাড়াভাবে স্থাপন কর। অতঃপর প্রিজ্‌মের *AC* তলের দিকে এরূপভাবে চক্ষু রাখ যাহাতে *R* পিনটি এবং *Q* পিনের প্রতিবিম্ব সমসূত্রে অবস্থিত দেখায়। এখন চক্ষুর অবস্থান ঠিক রাখিয়া *AC* তলের দিকে *S* পিন এবং *AB* তলের দিকে *P* পিন এরূপ অবস্থানে খাড়াভাবে আঁটিয়া দাও, যাহার ফলে *R* ও *S* পিন দুইটি এবং *P* ও *Q* পিন দুইটির প্রতিবিম্ব চক্ষুতে সমসূত্রে অবস্থান করিতেছে মনে হইবে।

পরিশেষে প্রিজ্‌ম্-সহ পিন কয়টি সরাইয়া লও এবং চিত্রে দর্শিত *PQ* ও *RS* সংযোগ-রেখা দুইটি অঙ্কিত কর। এখন *PQ* রেখাকে প্রিজ্‌মে আপতিত রশ্মি ধরা হইলে, উহার আনুষঙ্গিক নির্গত রশ্মি *RS* রেখা দ্বারা নির্দেশিত হইয়া থাকে।

অঙ্কন অনুযায়ী, *AQR* ত্রিভুজটি সমদ্বিবাহু হওয়ায় ইহার ভূমিসংলগ্ন $\angle AQR=\angle ARQ$। সুতরাং এক্ষেত্রে, আপতন-কোণ এবং আনুষঙ্গিক নির্গম-কোণ পরস্পর সমান এবং *AB* তলে আপতিত *PQ* রশ্মি ন্যূনতম চ্যুতি-কোণে *AC* প্রতিসারক তল হইতে *RS* অভিমুখে নির্গত হইয়া আসে। অতএব চিত্রে দর্শিত $\angle STM=D_m$ নির্দেশ করে ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ; উহা চাঁদার সাহায্যে নির্ণয় করা হয়।

অতঃপর, $\mu = \dfrac{\sin \frac{(D_m + A)}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$, এই সমীকরণ দ্বারা প্রিজ্‌ম্-উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণীত হইয়া থাকে।

সাধারণতঃ উপরে বর্ণিত পদ্ধতির পুনরাবৃত্তি করিয়া D_m-এর গড় মান নির্ণয় করা হইয়া থাকে এবং উহার সাহায্যে μ-এর মান নির্ণীত হয়।

উদাহরণ। (1) একটি প্রিজ্‌মের প্রতিসারক কোণ 60°। কোন এক নির্দিষ্ট বর্ণের রশ্মিগুচ্ছ-সাপেক্ষে প্রিজ্‌মের ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ 40°। প্রিজ্‌ম্-উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [The refracting angle of a prism is 60° and the minimum deviation produced in the case of a monochromatic pencil of light is 40°. Find the value of R.I. of the material of the prism.]

এক্ষেত্রে, $A = 60°$,
$D_m = 40°$,
$\mu = ?$.

আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin \frac{(D_m + A)}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{(40 + 60)}{2}}{\sin \frac{60}{2}} = \frac{\sin 50°}{\sin 30°}$$

$$= \frac{\cdot 766}{\cdot 5} = 1 \cdot 532.$$

(2) কোন প্রিজ্‌মের প্রতিসারক কোণ 60° এবং উহার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\surd 2$। দেখাও যে, প্রিজ্‌মের ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ 30°। [Angle of a prism is 60° and refractive index of its material is $\surd 2$, show that the minimum angle of deviation of the prism is 30°.]

এক্ষেত্রে, $A = 60°$, $\mu = \surd 2$ এবং $D_m = ?$.

আমরা জানি, $\mu = \dfrac{\sin \frac{(D_m + A)}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \dfrac{\sin \frac{(D_m + 60°)}{2}}{\sin 30°}$.

$$\therefore \quad \surd 2 \times \tfrac{1}{2} = \sin \frac{(D_m + A)}{2} = \frac{1}{\surd 2}.$$

স্থতরাং, $\sin \dfrac{(D_m + A)}{2} = \sin 45°$;

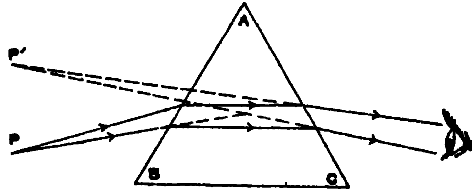
অতএব, $D_m + A = 90°.$

$\therefore \quad D_m = 90 - A = 90 - 60 = 30°.$

কাজেই দেখা যায়, এক্ষেত্রে ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ $= 30°$।

5·6. প্রিজ্‌মে প্রতিবিম্ব-সংগঠন: সাধারণতঃ প্রিজ্‌ম্ কর্তৃক কোন প্রভবের সংজ্ঞাসম্মত প্রতিবিম্ব-সংগঠন হয় না। কিন্তু প্রিজ্‌ম্ যখন কোন প্রভব হইতে আগত সঙ্কীর্ণ রশ্মিগুচ্ছ-সাপেক্ষে (with respect to) ন্যূনতম চ্যুতিতে অবস্থান করে, তখন ঐ রশ্মিগুচ্ছ প্রিজ্‌মে প্রতিসৃত হইয়া ন্যূনতম চ্যুতি-কোণে বাহির হইয়া আসে এবং এই নির্গত রশ্মিগুচ্ছের চলনপথে চক্ষু স্থাপন করিলে দেখা যাইবে উহা যেন অপর একটি প্রভব হইতে আসিতেছে। চক্ষুতে প্রতীয়মান এই দ্বিতীয় প্রভবটিকে বলা হয় আলোচ্য প্রভবের অসদ্‌বিম্ব।

5D চিত্রে P হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ-সাপেক্ষে ABC প্রিজ্‌ম্‌টি ন্যূনতম চ্যুতিতে বসানো হইয়াছে। ঐ রশ্মিগুচ্ছ প্রিজ্‌মে প্রতিসৃত হইয়া AC তল হইতে নির্গত হয় এবং উহা চক্ষুতে প্রবেশ করে। এক্ষেত্রে প্রতীয়মান হয় ঐ নির্গত রশ্মিগুচ্ছ যেন P' বিন্দু হইতে আসিতেছে।



চিত্র 5D

স্থতরাং প্রতিবিম্বের সংজ্ঞা অনুযায়ী, P' নির্দেশ করে P-এর অসদ্‌বিম্ব।

যখন প্রিজ্‌ম্-তলে আপতিত রশ্মিগুচ্ছ-সাপেক্ষে প্রিজ্‌ম্‌টি ন্যূনতম চ্যুতিতে বসানো না হয়, তখন নির্গত রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলি বিভিন্ন কোণে বিচ্যুত হওয়ার ফলে উহারা অপর আর একটি নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া প্রতীয়মান হয় না। স্থতরাং প্রিজ্‌মের ন্যূনতম চ্যুতিতে অবস্থান ভিন্ন অন্য অবস্থানে সংজ্ঞাসম্মত প্রতিবিম্ব-সংগঠন সম্ভবপর হয় না।

সারাংশ

কোন স্বচ্ছ মাধ্যম পরস্পর আনত দুইটি সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা বেষ্টিত হইলে, উহাকে **প্রিজ্‌ম্** বলা হয়। প্রিজ্‌মের যে তলে আলোকরশ্মি আপতিত হয় এবং যে তল হইতে উহা নির্গত হয়, এই উভয় তলকে বলা হয় প্রিজ্‌মের **প্রতিসারক তল** এবং উহাদের অন্তর্বর্তী কোণকে বলা হয় প্রিজ্‌মের **প্রতিসারক কোণ** বা **প্রিজ্‌মের কোণ**। প্রিজ্‌মের প্রতিসারক তল দুইটি যে রেখায় মিলিত হয়, উহাকে বলা হয়

প্রিজ্‌মের **প্রান্ত**। সাধারণ-ব্যবহৃত প্রিজ্‌মের প্রধান ছেদ ত্রিভুজের আকৃতির এবং উহার প্রান্তের বিপরীত তলকে বলা হয় **প্রিজ্‌মের ভূমি**। প্রিজ্‌মে আলোকরশ্মি প্রতিসৃত হইয়া উহা প্রিজ্‌মের ভূমির দিকে বাঁকিয়া নির্গত হয়। সুতরাং প্রিজ্‌মে আপতিত রশ্মির পথের চ্যুতি ঘটে এবং যে চ্যুতি-কোণের সৃষ্টি হয়, উহার পরিমাণ, $D = i + i' - A$ (এক্ষেত্রে, i = আপতন-কোণ, i' = নির্গত-কোণ এবং A = প্রিজ্‌ম্‌-কোণ)। প্রিজ্‌মের ন্যূনতম চ্যুতি-অবস্থানে, $i = i'$, সুতরাং ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ $D_m = 2i - A$, অথবা $i = \frac{D_m + A}{2}$ এবং আনুষঙ্গিক প্রতিসরণ-কোণ $r = \frac{A}{2}$। প্রিজ্‌ম্‌-উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক,

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{(D_m + A)}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

। পিন-পদ্ধতিতে D_m-এর মান নির্ণয় করিয়া প্রিজ্‌ম্‌-উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা হয়। প্রিজ্‌মের ন্যূনতম চ্যুতি-অবস্থানে কোন প্রভবের অসদ্‌বিম্ব প্রিজ্‌ম্‌ দ্বারা সংগঠিত হয়।

প্রশ্নমালা

1. প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া চালিত আলোকরশ্মির ন্যূনতম চ্যুতি-কোণের অর্থ চিত্রাঙ্কনে বুঝাইয়া দাও। [Explain by means of a diagram what is meant by the angle of minimum deviation for light passing through a prism.]

2. ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ ও প্রিজ্‌ম্‌-কোণের অবলম্বনে প্রিজ্‌ম্‌-উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক গাণিতিক সঙ্কেতে প্রকাশ কর। [Find out an expression for the R.I. of the material of a prism in terms of minimum deviation and angle of the prism.]

3. তোমাকে 60° কোণের একখানি কাচের প্রিজ্‌ম্‌, কয়েকটি আলপিন এবং ড্রইং-কাগজ দেওয়া হইল। কাচের প্রতিসরাঙ্ক কি প্রকারে নির্ণয় করিতে পারিবে তাহা বুঝাইয়া দাও। [You are given a glass prism of angle 60°, a few pins and a drawing paper. Explain how you would determine the R.I. of glass.]

4. একটি প্রিজ্‌মের প্রতিসারক কোণ 60° এবং সোডিয়াম-আলোক-সাপেক্ষে প্রিজ্‌ম্‌-উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 (জানা আছে)। এক্ষেত্রে প্রিজ্‌মটির ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ কত? (sin 48° 36′ = ·75) [The refracting angle of a prism is

60° and R.I. of the material of the prism for sodium light is known to be 1·5. What would be the angle of minimum deviation for the prism for sodium light ? (sin 48° 36′ = ·75)] [*Ans.* 37° 12′]

5. একটি মোমবাতির শিখা (a) প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া, (b) সমান্তরাল পৃষ্ঠের কাচফলকের মধ্য দিয়া দেখা হইল। পরিচ্ছন্ন চিত্র-সাহায্যে বুঝাইয়া দাও যে, চক্ষুতে উহা কিরূপ অবস্থানে দেখা যাইবে। [A candle flame is viewed through (a) a prism, (b) parallel-sided plate of glass. Explain with the aid of neat diagrams, the apparent positions of the candle as seen by the eye.]

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

লেন্সে আলোকের প্রতিসরণ

(Refraction of light through lens)

6·1. লেন্স ও উহার প্রয়োজনীয়তা :

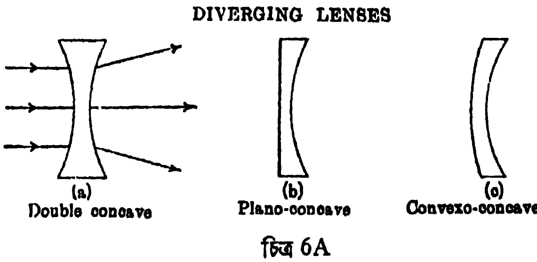
লেন্স (Lens)—কোন প্রতিসারক মাধ্যম (Refracting medium) যখন গোলকাকার (spherical) কিম্বা বেলন-আকার (cylindrical) পৃষ্ঠ দ্বারা বেষ্টিত থাকে তখন উহাকে লেন্স বলা হয়। বর্তমান আলোচনায় কেবল গোলকাকার লেন্স বিবেচিত হইল। এইপ্রকারের লেন্স দুই ভাগে বিভক্ত; যথা—

1. **অবতল লেন্স** বা **অপসারী লেন্স** **(Concave or Diverging lens)।**

2. **উত্তল লেন্স** বা **অভিসারী লেন্স** **(Convex or Converging lens)।**

অবতল লেন্স—এইপ্রকার লেন্সের মধ্যস্থল সরু এবং প্রান্তের দিক ক্রমশঃ মোটা হইয়া থাকে। অবতল লেন্স তিনরকম আকৃতির পরিলক্ষিত হয় এবং আকৃতি-ভেদে উহা বিভিন্ন নামে অভিহিত হইয়া থাকে; যথা—

(a) **উভ-অবতল** বা Bi-Concave [6A(a) চিত্র]—এই আকৃতির লেন্সের দুই পৃষ্ঠই অবতল।



চিত্র 6A

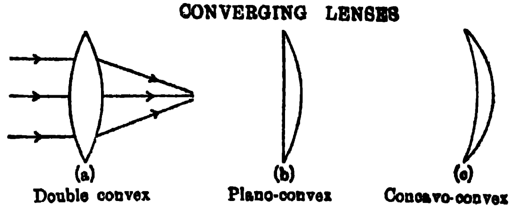
(b) **সম-অবতল** বা Plano-Concave [6A(b) চিত্র]— এই আকৃতির লেন্সের এক পৃষ্ঠ সমতল এবং অপর পৃষ্ঠ অবতল।

(c) **উত্তল অবতল** বা Convexo-Concave [6A(c) চিত্র]—এই আকৃতির লেন্সের এক পৃষ্ঠ উত্তল এবং অপর পৃষ্ঠ অবতল।

অবতল লেন্সকে সাধারণভাবে অপসারী লেন্স নামে অভিহিত করার অর্থ—এই লেন্সের মধ্য দিয়া একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি চালিত হইলে, উহা প্রতিসৃত হইয়া অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইয়া থাকে [6A(a) চিত্র দ্রষ্টব্য]।

উত্তল লেন্স—এইপ্রকার লেন্সের মধ্যস্থল মোটা এবং প্রান্তের দিক ক্রমশঃ সরু হইয়া থাকে। অবতল লেন্সের ন্যায় উত্তল লেন্সও তিনরকম আকৃতিবিশিষ্ট হইয়া থাকে; যথা—

(a) **উভ-উত্তল** বা Bi-convex—এই আকৃতির লেন্সের দুই পৃষ্ঠই উত্তল [6B(a) চিত্র]।



চিত্র 6B

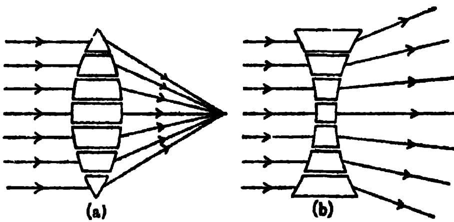
(b) **সম-উত্তল** বা Plano-Convex—এই আকৃতির লেন্সের এক পৃষ্ঠ সমতল ও অপর পৃষ্ঠ উত্তল [6B(b) চিত্র]।

(c) **অবতল-উত্তল** বা Concavo-Convex—এই আকৃতির লেন্সের এক পৃষ্ঠ অবতল ও অপর পৃষ্ঠ উত্তল [6B(c) চিত্র]।

উত্তল লেন্সকে সাধারণভাবে অভিসারী লেন্স নামে অভিহিত করার অর্থ—এই লেন্সের মধ্য দিয়া একগুচ্ছ সমান্তরাল রশ্মি চালিত হইলে উহা প্রতিসৃত হইয়া অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইয়া থাকে [6B(a) চিত্র দ্রষ্টব্য]।

লেন্স আলোচনার আবশ্যকতা—আলোক-সম্পর্কীয় বিবিধ যন্ত্রে লেন্স একটি অপরিহার্য অংশ হিসাবে পরিগণিত হইয়া থাকে। অণুবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবীক্ষণ যন্ত্র, সিনেমার আলোক-সম্পাতক যন্ত্র (Projector), চশমা ইত্যাদি বহুবিধ যন্ত্রপাতিতে লেন্সের ব্যবহার বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হইয়া থাকে। এমনকি আমাদের চক্ষু দুইটিতে এক-একখানি লেন্স বসানো আছে। কাজেই আলোক-বিজ্ঞানে লেন্সের আলোচনা গুরুত্বপূর্ণ বলিয়া বিবেচিত হইয়া থাকে।

6·2. লেন্সের সাহায্যে অভিসারী ও অপসারী রশ্মিগুচ্ছ সংগঠন ঃ একখানা উত্তল লেন্সেকে কতকগুলি মাথাকাটা (truncated) প্রিজ্‌মের স্তূপ (piling) হিসাবে ধরিয়া লওয়া যাইতে পারে। এই কল্পিত সংস্থাপনার প্রতিটি প্রিজ্‌মের ভূমি লেন্সের কেন্দ্রাভিমুখে অবস্থিত থাকে [6C(a) চিত্র দেখ]। এমতাবস্থায় চিত্রে দর্শিত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলি যখন এই কল্পিত প্রিজ্‌মগুলির তলে আপতিত হয় তখন উহারা প্রতিসৃত হইয়া প্রত্যেকে সংশ্লিষ্ট প্রিজ্‌মের ভূমির দিকে বাঁকিয়া বাহির হইয়া আসে। ফলে, এই নির্গত রশ্মিগুলির সমষ্টি অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ সংগঠন করে। **এই প্রক্রিয়া-দৃষ্টে উত্তল লেন্সকে অভিসারী লেন্স বলা হইয়া থাকে।**



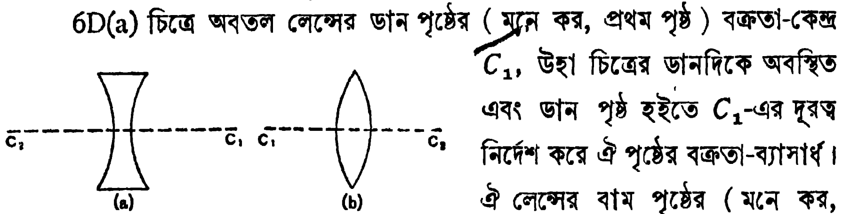
চিত্র 6C

অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে অনুরূপ কল্পিত মাথাকাটা প্রিজ্‌মগুলির ভূমি লেন্সের প্রান্ত অভিমুখে অবস্থান করে [6C(b) চিত্র দেখ]। এমতাবস্থায় চিত্রে দর্শিত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলি যখন এই কল্পিত প্রিজ্‌মগুলির তলে আপতিত হয় তখন উহারা প্রতিসৃত হইয়া প্রত্যেকে সংশ্লিষ্ট প্রিজ্‌মের ভূমির দিকে (অর্থাৎ লেন্সের প্রান্তের দিকে) বাঁকিয়া বাহির হইয়া আসে। ফলে, এই নির্গত রশ্মিগুলির সমষ্টি অপসারী রশ্মিগুচ্ছ সংগঠন করে। **এই প্রক্রিয়া-দৃষ্টে, অবতল লেন্সকে অপসারী লেন্স বলা হইয়া থাকে।**

6·3. লেন্সে ব্যবহৃত কয়েকটি শব্দের সংজ্ঞা :

(1) **লেন্স-পৃষ্ঠের বক্রতা-কেন্দ্র (Centre of curvature) এবং বক্রতা-ব্যাসার্ধ (Radius of curvature)—লেন্সের পৃষ্ঠ যে গোলকের অংশ, ঐ গোলকের কেন্দ্রকে বলা হয় লেন্স-পৃষ্ঠটির বক্রতা-কেন্দ্র এবং উহার ব্যাসার্ধকে বলা হয় লেন্স-পৃষ্ঠটির বক্রতা-ব্যাসার্ধ।**

6D(a) চিত্রে অবতল লেন্সের ডান পৃষ্ঠের (মনে কর, প্রথম পৃষ্ঠ) বক্রতা-কেন্দ্র C_1, উহা চিত্রের ডানদিকে অবস্থিত এবং ডান পৃষ্ঠ হইতে C_1-এর দূরত্ব নির্দেশ করে ঐ পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ। ঐ লেন্সের বাম পৃষ্ঠের (মনে কর, দ্বিতীয় পৃষ্ঠ) বক্রতা-কেন্দ্র C_2, উহা চিত্রের বামদিকে অবস্থিত, এবং বাম পৃষ্ঠ হইতে C_2-এর দূরত্ব নির্দেশ করে ঐ পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ।



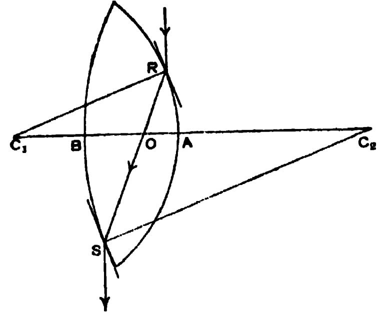
চিত্র 6D

অনুরূপভাবে 6D(b) চিত্রে দর্শিত C_1 এবং C_2 যথাক্রমে নির্দেশ করে উত্তল লেন্সের ডান ও বাম পৃষ্ঠের বক্রতা-কেন্দ্র এবং আনুষঙ্গিক পৃষ্ঠ হইতে উহাদের দূরত্ব নির্দেশ করে পৃষ্ঠ দুইটির বক্রতা-ব্যাসার্ধ। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, এক্ষেত্রে, ডান পৃষ্ঠের বক্রতা-কেন্দ্র চিত্রের বামদিকে এবং বাম পৃষ্ঠের বক্রতা-কেন্দ্র চিত্রের ডানদিকে অবস্থিত।

(2) **লেন্সের প্রধান অক্ষ (Principal axis)—যে রেখা লেন্সের বক্রতা-কেন্দ্র দুইটি সংযোগ করে, উহাকে বলা হয় লেন্সের প্রধান অক্ষ।** 6D(a) এবং 6D(b) চিত্র দুইটির C_1C_2 রেখা নির্দেশ করে আনুষঙ্গিক লেন্সের প্রধান অক্ষ।

(3) **লেন্সের আলোক-কেন্দ্র বা লেন্স-কেন্দ্র (Optical centre of a lens)—যখন কোন আলোকরশ্মি লেন্সের এক পৃষ্ঠে এরূপভাবে আপতিত হয় যে, উহা লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া অপর পৃষ্ঠ হইতে পার্শ্ব-বিচ্যুত অবস্থায় আপতিত রশ্মির সমান্তরালে নির্গত হয়, তখন ঐ প্রতিসৃত রশ্মি লেন্সের**

প্রধান অক্ষকে যে বিন্দুতে ছেদ করে, উহাকে বলা হয় লেন্সের আলোক-কেন্দ্র বা লেন্স-কেন্দ্র।



চিত্র 6E

6E চিত্রে একটি উত্তল লেন্সের ডান পৃষ্ঠের R বিন্দুতে আপতিত রশ্মি লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া অপর পৃষ্ঠের S বিন্দু হইতে আপতিত রশ্মির সমান্তরালে বাহির হইয়া আসিয়াছে এবং RS প্রতিসৃত রশ্মি লেন্স-অক্ষকে O বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে। স্নতরাং, O নির্দেশ করে লেন্স-কেন্দ্র। এই লেন্স-কেন্দ্রের অবস্থান নির্ভর করে লেন্স-পৃষ্ঠ তুইটির বক্রতা-ব্যাসার্ধের উপর। লেন্সটি যখন সম-বক্রপৃষ্ঠের হয়, তখন লেন্স-কেন্দ্র পৃষ্ঠ তুইটি হইতে সমদূরত্বে অবস্থান করে।

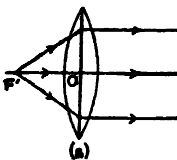
আপতিত রশ্মি-সাপেক্ষে নির্গত রশ্মির পার্শ্ব-চ্যুতি নির্ভর করে লেন্সের স্থূলত্বের উপর। লেন্স খুব পাতলা হইলে, নির্গত রশ্মির পার্শ্ব-চ্যুতি একরূপ নগণ্য হইবে। এ-হিসাবে পাতলা (thin) লেন্সের ক্ষেত্রে—

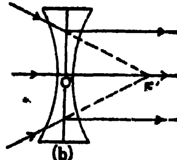
লেন্স-কেন্দ্র নির্দেশ করে লেন্স-অক্ষের উপর অবস্থিত এমন একটি বিন্দু, যে বিন্দু অভিমুখে আপতিত রশ্মি কোনরূপ বিচ্যুত না হইয়া লেন্সের মধ্য দিয়া সরাসরি নির্গত হইয়া আসে।

(4) লেন্সের প্রথম ও দ্বিতীয় মুখ্য ফোকসঃ

প্রথম মুখ্য ফোকস (First Principal Focus)—লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত যে স্থিরবিন্দু হইতে আগত সঙ্কীর্ণ অপসারী রশ্মিগুচ্ছ (উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে) অথবা যে স্থিরবিন্দু অভিমুখে সঙ্কীর্ণ অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ (অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে) লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া প্রধান অক্ষের সমান্তরালে বাহির হইয়া আসে, সেই বিন্দুকে বলা হয় প্রথম মুখ্য ফোকস।

6F(a) এবং 6F(b) চিত্র তুইটিতে F' নির্দেশ করে উত্তল ও অবতল লেন্সের প্রথম মুখ্য ফোকস। উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে প্রথম মুখ্য ফোকস **সৎ** (real) এবং অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে উহা **অসৎ** (virtual)।



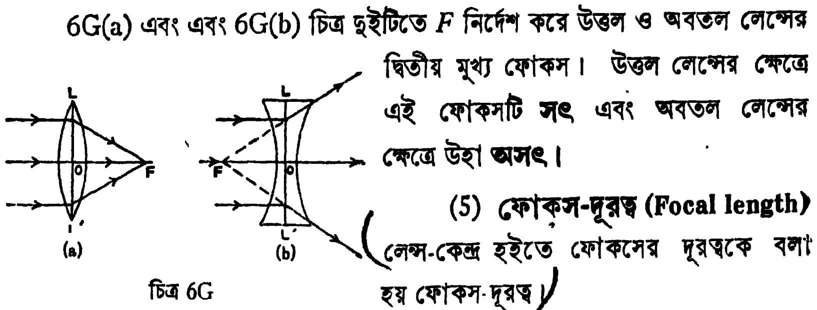


চিত্র 6F

দ্বিতীয় মুখ্য ফোকস (Second Principal Focus)—এই দ্বিতীয় মুখ্য ফোকসকেই সাধারণতঃ বলা হয় লেন্সের মুখ্য ফোকস।

লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরালে একগুচ্ছ সঙ্কীর্ণ সমান্তরাল রশ্মি লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া ঐ অক্ষের যে বিন্দুতে মিলিত হয় (উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে) অথবা যে বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া প্রতীয়মান হয় (অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে), সেই বিন্দুকে বলা হয় লেন্সের দ্বিতীয় মুখ্য ফোকস অথবা মুখ্য ফোকস।

6G(a) এবং এবং 6G(b) চিত্র দুইটিতে F নির্দেশ করে উত্তল ও অবতল লেন্সের দ্বিতীয় মুখ্য ফোকস। উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে এই ফোকসটি **সৎ** এবং অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে উহা **অসৎ**।



চিত্র 6G

(5) **ফোকস-দূরত্ব (Focal length)** লেন্স-কেন্দ্র হইতে ফোকসের দূরত্বকে বলা হয় ফোকস-দূরত্ব।

প্রথম ফোকস-দূরত্ব—লেন্সের কেন্দ্র হইতে প্রথম মুখ্য ফোকসের দূরত্ব নির্দেশ করে লেন্সের প্রথম ফোকস-দূরত্ব।

6F(a) এবং 6F(b) চিত্র দুইটির লেন্স-কেন্দ্র O হইতে F'-এর দূরত্ব (f_1) নির্দেশ করে প্রথম ফোকস-দূরত্ব।

দ্বিতীয় ফোকস-দূরত্ব—লেন্সের কেন্দ্র হইতে দ্বিতীয় মুখ্য ফোকসের দূরত্ব নির্দেশ করে লেন্সের দ্বিতীয় ফোকস-দূরত্ব।

6G(a) এবং 6G(b) চিত্র দুইটির লেন্স-কেন্দ্র O হইতে F-এর দূরত্ব (f_2) নির্দেশ করে দ্বিতীয় ফোকস-দূরত্ব। ইহাকে সাধারণতঃ লেন্সের ফোকস-দূরত্ব বলা হয় এবং লেন্সের ফরমুলায় ইহা 'f' দ্বারা নির্দেশিত হইয়া থাকে।

(6) **ফোকস-তল (Focal plane)**—লেন্সের মুখ্য ফোকসে বিবেচিত যে তলের উপর প্রধান অক্ষ অভিলম্বে অবস্থান করে, ঐ তলকে বলা হয় ফোকস-তল (Focal plane)।

অসীমে (at infinity) অবস্থিত বস্তুর সদ্‌বিম্ব (উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে) মুখ্য ফোকস-তলে সংগঠিত হয়।

(7) **লেন্সের মুখ্য ছেদ (Principal section)**—লেন্সের যে ছেদে লেন্সের প্রধান অক্ষ অবস্থান করে, উহাকে বলা হয় লেন্সের মুখ্য বা প্রধান ছেদ।

6H চিত্রে সম-বক্রতা-পৃষ্ঠের একটি উভ-উত্তল লেন্সের (equi-convex lens) মুখ্য ছেদ দেখানো হইল। উহার কেন্দ্রেই O বিন্দু নির্দেশ করে লেন্সটির আলোক-কেন্দ্র।

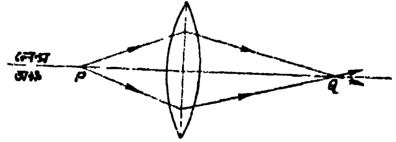


চিত্র 6H

(8) **লেন্সের উন্মেষ (Aperture)**—মনে কর, লেন্স-পৃষ্ঠের উভয় দিক উত্তল গোলক আকৃতির। সুতরাং উহাদের ছেদ-রেখা বৃত্তাকার। এই বৃত্তের ব্যাস নির্দেশ করে লেন্সটির উন্মেষ। 6H চিত্রে LOL' দ্বারা লেন্সের উন্মেষ নির্ধারিত হইয়া থাকে। যখন LOL'-এর দৈর্ঘ্য কম থাকে তখন বলা হয়—লেন্সটির উন্মেষ কম।

লেন্স সম্পর্কে বর্তমান আলোচনায় আমরা ধরিয়া লইব, লেন্স পাতলা এবং উহার উন্মেষ কম।

(9) **অনুবন্ধী ফোকস-যুগল** (Conjugate pair of foci)—যখন লেন্স-অক্ষের উপর অবস্থিত কোন বিন্দুপ্রভব হইতে আগত সঙ্কীর্ণ অপসারী রশ্মিগুচ্ছ লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া অক্ষের অপর একটি বিন্দুতে মিলিত হয় অথবা অপর একটি বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া প্রতীয়মান হয়, তখন ঐ বিন্দু দুইটিকে বলা হয় অনুবন্ধী ফোকস-যুগল।



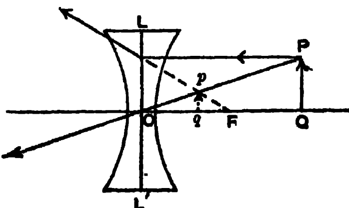
চিত্র 6I

6I চিত্রে, একটি উত্তল লেন্সের অক্ষে অবস্থিত P বিন্দুপ্রভবের সদ্‌বিম্ব Q বিন্দুতে সংগঠিত হইয়াছে। এক্ষেত্রে P ও Q নির্দেশ করে অনুবন্ধী ফোকস-যুগল। এই ফোকস-যুগলের অবস্থান বিনিময় (interchangeable), অর্থাৎ Q অবস্থানে প্রভব থাকিলে, P অবস্থানে আনুষঙ্গিক প্রতিবিম্ব সংগঠিত হইবে।

6·4. অবতল লেন্সে প্রতিবিম্ব-সংগঠন :

এক্ষেত্রে বস্তু লেন্স হইতে যে-কোন দূরত্বে থাকুক না কেন, সংগঠিত প্রতিবিম্বের প্রকৃতি একই থাকে। এই প্রতিবিম্ব (a) **সোজা** (Erect), (b) **অসৎ** (Virtual) ও (c) **বস্তু অপেক্ষা আকারে ছোট** (Diminished in size) এবং ইহা সর্বদা বস্তু ও লেন্সের অন্তর্বর্তী স্থানে সংগঠিত হয়।

6J চিত্রে LOL', O, F এবং FO যথাক্রমে নির্দেশ করে অবতল লেন্স, উহার আলোক-কেন্দ্র, মুখ্য ফোকস (অর্থাৎ দ্বিতীয় মুখ্য ফোকস) এবং ফোকস-দূরত্ব।



চিত্র 6J

চিত্রাঙ্কনের সুবিধার জন্য লেন্স-অক্ষের উপর খাড়াভাবে অবস্থিত তীর-চিহ্নিত PQ রেখা দ্বারা বস্তুটিকে দেখানো হইয়াছে।

অঙ্কন-পদ্ধতি—PQ প্রভব-বস্তুর P প্রান্ত-

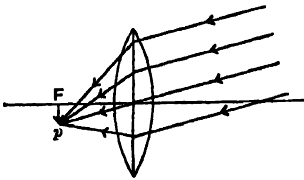
বিন্দুর আনুষঙ্গিক প্রতিবিম্ব অঙ্কন করিবার জন্য দুইটি রশ্মি সাধারণতঃ বিবেচনা করা হয় ; যথা—(1) P হইতে আগত লেন্স-অক্ষের সমান্তরাল রশ্মি। উহা লেন্সে আপতিত হইয়া এরূপ পথে প্রতিসৃত হইয়া থাকে যে, চক্ষু দেখিতে পায় উহা যেন মুখ্য ফোকস F বিন্দু হইতে আসিতেছে ('dot'-চিহ্নিত রেখা দেখ), এবং (2) P হইতে আগত কেন্দ্রাভিমুখী PO রশ্মি, উহা বিচ্যুত না হইয়া সরাসরি বাহির হইয়া আসে (যেহেতু লেন্সটি পাতলা ধরা হয়)। এই প্রতিসৃত রশ্মি দুইটি চক্ষুতে দেখা যায় যেন উহারা p বিন্দু হইতে আসিতেছে। সুতরাং প্রতিবিম্বের সংজ্ঞা অনুযায়ী, p বিন্দু নির্দেশ করে P-এর অসদ্‌বিম্ব। এখন p হইতে পাতিত অক্ষের উপর pq লম্ব নির্দেশ করে PQ-এর সামগ্রিক অসদ্‌বিম্ব (যেহেতু লেন্সটি কম উন্মেষের ধরা হয়)।

চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, প্রতিবিম্বটি সোজা, অসৎ এবং আকারে ছোট।

6·5. উত্তল লেন্সে প্রতিবিম্ব-সংগঠন :

উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে, বস্তুর বিভিন্ন অবস্থানে প্রতিবিম্বের প্রকৃতি বিভিন্ন হইয়া থাকে। নিম্নে বিভিন্ন প্রকৃতির প্রতিবিম্ব-সংগঠন আলোচিত হইল :

(1) **বস্তু অসীমে** (Object at infinity)—প্রতিবিম্ব (a) **সৎ** (real), (b) **উল্‌টা** (inverted) এবং (c) **আকারে ছোট।** প্রতিবিম্বটি মুখ্য ফোকস-তলে সংগঠিত হইয়া থাকে। অসীমে অবস্থিত বস্তুর উপরের প্রান্তবিন্দু হইতে আগত একগুচ্ছ রশ্মি সমান্তরাল রশ্মি হিসাবে বিবেচিত হয়, সুতরাং উহা লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া 6K(i) চিত্রের p বিন্দুতে মিলিত হয়। এক্ষেত্রে, লেন্স-অক্ষে অঙ্কিত pF লম্ব নির্দেশ করে অসীমে অবস্থিত বস্তুর বাস্তব প্রতিবিম্ব ; উহা আকারে ছোট এবং বস্তু-সাপেক্ষে উল্‌টাভাবে অবস্থান করে।

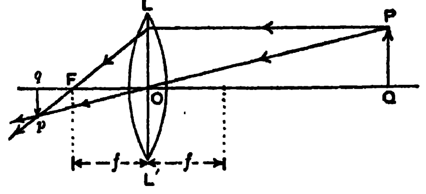


চিত্র 6K(i)

উত্তল লেন্সের অসীমে অবস্থিত বস্তুর সদ্‌বিম্ব সংগঠন করার ক্ষমতা থাকায়, বড় উন্মেষের উত্তল লেন্স দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য (objective) হিসাবে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(2) **বস্তু লেন্স হইতে ফোকস-দূরত্বের দ্বিগুণেরও অধিক দূরত্বে (অর্থাৎ 2f-এর অধিক দূরত্বে) অবস্থিত**—প্রতিবিম্বের প্রকৃতি (a) **সৎ**, (b) **উল্‌টা** এবং (c) **আকারে ছোট।** এই সদ্‌বিম্ব লেন্সের পিছনে 'f' এবং '$2f$' দূরত্বের অন্তর্বর্তী স্থানে সংগঠিত হয়।

6K(ii) চিত্রে, PQ বস্তুটি লেন্স হইতে $2f$-এর অধিক দূরে অবস্থিত। এক্ষেত্রে P হইতে আগত অক্ষের সমান্তরাল রশ্মি লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া মুখ্য ফোকস F বিন্দু দিয়া চলিয়া আসে। আবার P হইতে আগত কেন্দ্রাভিমুখী PO রশ্মিটি লেন্সে আপতিত হইয়া সোজাসুজি লেন্স হইতে নির্গত হয় (যেহেতু লেন্স পাতলা)। চিত্রে এই প্রতিসৃত রশ্মি দুইটি p বিন্দুতে ছেদ করে। সুতরাং, p বিন্দু নির্দেশ করে P-এর সদ্‌বিম্ব এবং p বিন্দু হইতে অক্ষের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব pq নির্দেশ করে PQ-এর উল্‌টা সদ্‌বিম্ব।

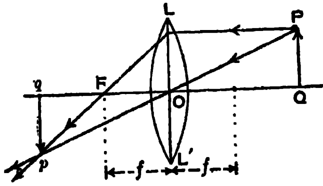


চিত্র 6K(ii)

চিত্রদৃষ্টে ইহা বুঝা যায় যে, এই উল্‌টা প্রতিবিম্বটির আকার বস্তুর আকার অপেক্ষা ছোট এবং উহা লেন্সের পিছনে f ও $2f$ দূরত্বের মধ্যে অবস্থান করে।

উত্তল লেন্সের এইপ্রকারের উল্‌টা প্রতিবিম্ব সংগঠন করার ক্ষমতা থাকায়, উহা ফটো-ক্যামেরাতে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(3) **বস্তুটি লেন্স হইতে '2f' দূরে অবস্থিত**—এক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের প্রকৃতি (a) **সৎ**, (b) **উল্‌টা** এবং (c) **বস্তুর আকারের সমান**। উহা লেন্সের পিছনে $2f$ দূরত্বে সংগঠিত হয়।



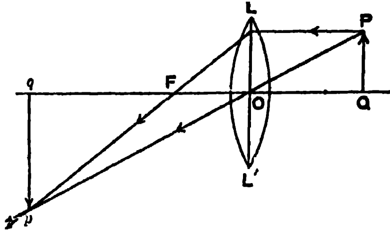
চিত্র 6K(iii)

6K(iii) চিত্রে, PQ বস্তুটি লেন্স হইতে $2f$ দূরে অবস্থিত। এক্ষেত্রে, 6.5(2) অনুচ্ছেদের অঙ্কন-পদ্ধতি অনুসরণ করিলে আমরা দেখিতে পাই, p নির্দেশ করে P-এর সদ্‌বিম্ব এবং pq নির্দেশ করে PQ-এর উল্‌টা সদ্‌বিম্ব। চিত্রদৃষ্টে ইহা সুস্পষ্ট যে, এই প্রতিবিম্বের আকার PQ-এর আকারের সমান এবং উহা লেন্সের পিছনে $2f$ দূরত্বে সংগঠিত হয়। বস্তুর উল্‌টা ছবি সোজা করিবার জন্য Terrestrial Telescope-এ এই পদ্ধতিতে উত্তল লেন্স ব্যবহৃত হয়।

(4) **বস্তু লেন্স হইতে 'f' এবং '2f' দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত**—প্রতিবিম্বের প্রকৃতি (a) **সৎ**, (b) **উল্‌টা** এবং (c) **বস্তুর আকার অপেক্ষা বড়**। এই প্রতিবিম্ব লেন্সের পিছনে $2f$ অপেক্ষা অধিক দূরে সংগঠিত হয়।

6K(iv) চিত্রে PQ বস্তুটি লেন্স হইতে 'f' এবং '$2f$'-এর মধ্যে অবস্থিত।

এক্ষেত্রে, 6·5(2) অনুচ্ছেদের অঙ্কন-পদ্ধতি অনুসরণ করিলে আমরা দেখিতে পাই, p নির্দেশ করে P-এর সদ্বিম্ব এবং pq নির্দেশ করে PQ-এর উল্‌টা সদ্‌বিম্ব। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায় যে, এই প্রতিবিম্বটির আকার বস্তুর আকার অপেক্ষা অনেক বড় এবং উহা লেন্সের পিছনে $2f$ অপেক্ষা অধিক দূরত্বে সংগঠিত হয়।

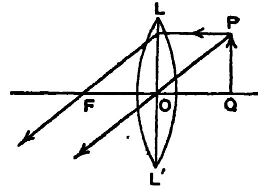


চিত্র 6K(iv)

উত্তল লেন্সের বস্তুর বড় আকারের উল্‌টা সদ্‌বিম্ব সংগঠন করিবার ক্ষমতা থাকায়, সিনেমার আলোক-সম্পাতক যন্ত্রে (Cinema projector) এইপ্রকারের লেন্স ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(5) **বস্তু লেন্স হইতে 'f' দূরত্বে অবস্থিত অর্থাৎ বস্তুটি প্রথম মুখ্য ফোকসে অবস্থিত**—এক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের প্রকৃতি (a) সৎ, (b) উল্‌টা এবং উহা অসীমে সংগঠিত হওয়ায় দৃষ্টি-বহির্ভূত ও (c) **আকারে কল্পনাতীত বড়।**

6K(v) চিত্রে, PQ বস্তুটি লেন্সের অক্ষের উপর প্রথম মুখ্য ফোকসে লম্বভাবে অবস্থিত। P হইতে আগত অক্ষের সমান্তরাল রশ্মি লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া F ফোকস-বিন্দু দিয়া চলিয়া আসে। আবার P হইতে আগত কেন্দ্রাভিমুখী PO রশ্মিটি সোজাসুজি লেন্স হইতে চলিয়া আসে। চিত্রদৃষ্টে ইহা সুস্পষ্ট যে, এই নির্গত রশ্মি দুইটি পরস্পর সমান্তরাল। সুতরাং সমান্তরালের সংজ্ঞা অনুযায়ী উহারা অসীমে মিলিত হইয়াছে। কাজেই আমরা বলিয়া থাকি, P-এর সদ্‌বিম্ব অসীমে অবস্থিত। সুতরাং PQ-এর সামগ্রিক প্রতিবিম্বটিও অসীমে উল্‌টাভাবে অবস্থিত, উহার আকার কল্পনাতীত বড় এবং উহা আমাদের দৃষ্টি-বহির্ভূত।



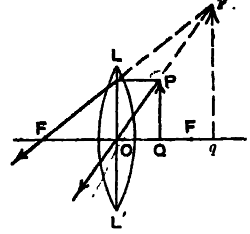
চিত্র 6K(v)

যেসকল যন্ত্রে অপসারী রশ্মিগুচ্ছকে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিণত করা দরকার হয়, সেইসমস্ত যন্ত্রে উত্তল লেন্সের এইপ্রকারের ব্যবহার পরিলক্ষিত হইয়া থাকে; যেমন—বর্ণালী-বীক্ষণ (Spectrometer) যন্ত্রের কলিমেটারে (Collimater) উত্তল লেন্স এইপ্রকারে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(6) **বস্তু লেন্স হইতে 'f' অপেক্ষা কম দূরত্বে অবস্থিত**—প্রতিবিম্বের প্রকৃতি (a) **অসৎ,** (b) **সোজা** এবং (c) **আকারে বস্তু অপেক্ষা বড়।** এক্ষেত্রে বস্তু ও প্রতিবিম্ব একই দিকে অবস্থান করে।

6K(vi) চিত্রে, PQ বস্তুটি লেন্সের ফোকস-দূরত্ব অপেক্ষা কম দূরত্বে অবস্থিত।

P হইতে আগত অক্ষের সমান্তরাল রশ্মি লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া F ফোকস-বিন্দু দিয়া চলিয়া আসে। আবার P হইতে আগত কেন্দ্রাভিমুখী PO রশ্মিটি সোজাসুজি লেন্সের মধ্য দিয়া বাহির হইয়া আসে। এই রশ্মিরেখা দুইটিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করিলে, p বিন্দুতে মিলিত হয়। সুতরাং প্রতিবিম্বের সংজ্ঞা অনুযায়ী, p নির্দেশ করে P-এর অসদ্‌বিম্ব। অক্ষের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব pq নির্দেশ করে PQ-এর অসদ্‌বিম্ব। উহা 'dot'-চিহ্নিত রেখা-অঙ্কনে দেখানো হইল। এই



চিত্র 6K(vi)

অসদ্‌বিম্ব (pq) বস্তু অপেক্ষা আকারে বড়, সোজা এবং উহা বস্তুর একই দিকে বস্তু হইতে দূরে অবস্থিত। প্রতিবিম্বটি অসৎ হওয়ায়, লেন্স হইতে নির্গত রশ্মির দিকে চক্ষু স্থাপন করিলে ঐ প্রতিবিম্বটি দেখা যাইবে। কিন্তু pq-এর অবস্থানে কোন পর্দা রাখিলে, উহার উপর এই প্রতিবিম্বের বাস্তব সংগঠন পরিলক্ষিত হয় না।

উত্তল লেন্স দ্বারা বস্তুর এইপ্রকারের প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষমতা থাকায় উহা বিবর্ধক কাচ (Magnifying glass) হিসাবে ব্যবহৃত হয় এবং ঐ লেন্সের সাহায্যে দূরবীক্ষণ ও অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিনেত্র (eye-piece) তৈয়ারি করা হয়।

6·6. লেন্স-সম্পর্কীয় রাশিগুলির সঙ্কেত-চিহ্নের নিয়ম (Convention of Sign) : সাধারণতঃ লেন্স সম্পর্কে তিনটি রাশির সঙ্কেত-চিহ্নের নিয়ম বিবেচনা করা হয় ; যথা—

(1) লেন্স-কেন্দ্র হইতে বস্তু-দূরত্ব, u ;

(2) লেন্স-কেন্দ্র হইতে মুখ্য ফোকস-দূরত্ব, f ;

(3) লেন্স-কেন্দ্র হইতে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব, v।

অবস্থা হিসাবে, u, v এবং f-এর সহিত যোগচিহ্ন (+) কিম্বা বিয়োগচিহ্ন (−) সংযোগ করা হইয়া থাকে।

এই সঙ্কেত-চিহ্ন দিবার নিয়ম : বাস্তব বস্তুর দূরত্ব সর্বসময়ই ধনাত্মক (positive) ধরা হয়। বস্তুসহ প্রতিবিম্ব ও মুখ্য ফোকস লেন্সের একই পার্শ্বে অবস্থান করিলে, u, v এবং f প্রত্যেকটি ধনাত্মক। সুতরাং অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে u, v এবং f ধনাত্মক বিবেচিত হইয়া থাকে।

বস্তু লেন্সের যে পার্শ্বে অবস্থিত তাহার অপর পার্শ্বে যদি মুখ্য ফোকস ও প্রতিবিম্ব

অবস্থান করে, তাহা হইলে f এবং v উভয়ই ঋণাত্মক। এ-হিসাবে, উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে ফোকস-দূরত্ব এবং সদ্‌বিম্ব-দূরত্ব উভয়ই ঋণাত্মক। কিন্তু উত্তল লেন্স দ্বারা যখন অসদ্‌বিম্ব সংগঠিত হয় তখন প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ধনাত্মক বিবেচিত হইয়া থাকে, কেননা এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব ও বস্তু লেন্সের একই পার্শ্বে অবস্থান করে।

সঙ্কেত-চিহ্নের বিকল্প নিয়ম—অধুনা বাস্তব বস্তু-দূরত্ব, সৎ-ফোকস-দূরত্ব এবং সদ্‌বিম্ব-দূরত্ব ধনাত্মক বিবেচিত হইয়া থাকে এবং অসৎ-ফোকস-দূরত্ব ও অসদ্‌বিম্ব-দূরত্ব ঋণাত্মক ধরা হইয়া থাকে।

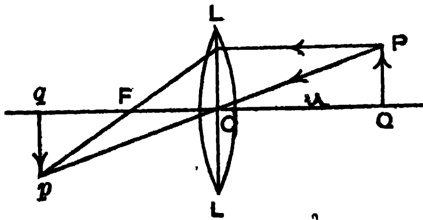
এ-হিসাবে, উত্তল লেন্সের ফোকস-দূরত্ব ধনাত্মক এবং অবতল লেন্সের ফোকস-দূরত্ব **ঋণাত্মক ধরা হয়। যেহেতু অবতল লেন্সের বাস্তব বস্তুর যে-কোন অবস্থানে** উহার অসদ্‌বিম্ব সংগঠিত হয়, সুতরাং প্রতিবিম্ব সবসময়ই ঋণাত্মক বিবেচিত হইয়া থাকে। উত্তল লেন্সে সদ্‌বিম্ব-দূরত্ব ধনাত্মক এবং অসদ্‌বিম্ব-দূরত্ব ঋণাত্মক ধরা হয়।

এই পুস্তকে উপরে বর্ণিত সঙ্কেত-চিহ্নের প্রথম নিয়ম অনুসৃত হইল।

6·7. লেন্স-ফরমুলা প্রতিপাদন :

লেন্স-সাপেক্ষে বস্তু-দূরত্ব (u), প্রতিবিম্ব-দূরত্ব (v) এবং ফোকস-দূরত্ব (f)—এই তিনটি রাশির পারস্পরিক সম্পর্ক সাঙ্কেতিক উপায়ে প্রকাশ করাকে বলা হয় লেন্স-**ফরমুলা**। নিম্নে উত্তল ও অবতল লেন্সের ফরমুলা জ্যামিতির সাহায্যে পৃথক্ পৃথক্ ভাবে নির্ণীত হইল :

(i) **উত্তল লেন্সের ফরমুলা**—পূর্বের আলোচিত পদ্ধতি অনুসরণ করিয়া PQ-এর বাস্তব প্রতিবিম্ব pq অঙ্কন করা হইল।



চিত্র 6L(i)

6L(i) চিত্র অনুযায়ী,

বস্তু-দূরত্ব $OQ = +u$;
প্রতিবিম্ব-দূরত্ব $Oq = -v$;
ফোকস-দূরত্ব $OF = -f$.

এখন, চিত্রের POQ এবং pOq ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ,

সুতরাং, $\dfrac{pq}{PQ} = \dfrac{Oq}{OQ} = \dfrac{-v}{u}$ ... (a)

চিত্রের LOF ও pqF ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ,

সুতরাং, $\dfrac{pq}{LO} = \dfrac{qF}{OF}$

অথবা, $\frac{pq}{PQ} = \frac{Oq - OF}{OF}$ (যেহেতু চিত্রদৃষ্টে, $LO = PQ$)

$$= \frac{-v - (-f)}{-f}$$

$$= \frac{f - v}{-f} \qquad \ldots \qquad \text{(b)}$$

এক্ষেত্রে, (a) এবং (b) পরস্পর সমান,

সুতরাং, $\frac{-v}{u} = \frac{f - v}{-f}$;

অথবা, $vf = fu - uv$.

এখন উভয় দিক uvf দ্বারা ভাগ করিলে,

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{v} - \frac{1}{f}$$

অথবা, $\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = -\frac{1}{f}$

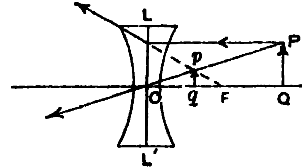
অথবা, $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$.

এই সমীকরণটি নির্দেশ করে উত্তল লেন্সের সাধারণ ফরমূলা।

(ii) **অবতল লেন্সের ফরমূলা**—6·4 অনুচ্ছেদের পদ্ধতি অনুসরণ করিয়া 6L(ii) চিত্রটি অঙ্কন করা হইল।

এক্ষেত্রে, বস্তু-দূরত্ব $OQ = +u$; প্রতিবিম্ব-দূরত্ব $Oq = +v$; ফোকস-দূরত্ব $OF = +f$ ।

চিত্রদৃষ্টে, POQ এবং pOq ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।



চিত্র 6L (ii)

সুতরাং, $\frac{pq}{PQ} = \frac{Oq}{OQ} = \frac{v}{u}$; $\qquad \ldots \qquad$ (a)

এবং LOF ও pqF ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।

সুতরাং, $\frac{pq}{LO} = \frac{qF}{OF}$.

অথবা, $\frac{pq}{PQ} = \frac{OF - Oq}{OF}$ (যেহেতু $LO = PQ$)

$$= \frac{f - v}{f} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \text{(b)}$$

এক্ষেত্রে, (a) ও (b) সমান।

সুতরাং, $\frac{v}{u} = \frac{f-v}{f}$

অথবা, $vf = fu - vu$

অথবা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{v} - \frac{1}{f}$

অথবা, $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$.

[**দ্রষ্টব্য ঃ** অঙ্ক কষিবার সময় u, v এবং f-এর মান যথাবিহিত চিহ্নিত করিতে হয়। ইহাদের মধ্যে যে রাশিটি নির্ণয় করিতে হইবে, সাধারণ ফরমুলায় উহার সহিত আগেই কোন সঙ্কেত-চিহ্ন (+ বা −) দেওয়ার প্রয়োজন নাই।]

6·8. লেন্সে প্রতিবিম্বের রৈখিক বিবর্ধন (Linear Magnification) ঃ

রৈখিক বিবর্ধন (m) $= \frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য}}{\text{বস্তুর দৈর্ঘ্য}} = \frac{pq}{PQ} = \frac{v}{u}$

$= \frac{\text{প্রতিবিম্ব-দূরত্ব}}{\text{বস্তু-দূরত্ব}}$। [6L(i) এবং 6L(ii) চিত্র দেখ]

উত্তল লেন্সে সদ্‌বিম্ব-সংগঠনের ক্ষেত্রে v ঋণাত্মক এবং অসদ্‌বিম্ব-সংগঠনের ক্ষেত্রে উত্তল ও অবতল উভয় লেন্সে v ধনাত্মক ধরা হয়।

ফরমূলার সাহায্যে রৈখিক বিবর্ধন—লেন্স-ফরমূলা অনুযায়ী,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

অথবা, $1 - \frac{v}{u} = \frac{v}{f}$.

সুতরাং, $1 - m = \frac{v}{f}$;

অতএব, $m = 1 - \frac{v}{f} = \frac{f-v}{f}$.

উদাহরণ। (1) মনে কর, একটি উত্তল লেন্সের ফোকস-দূরত্ব $\frac{100}{6}$ cm. এবং উহাদ্বারা সংগঠিত সদ্‌বিম্বের দূরত্ব 100 cm.

এক্ষেত্রে, $v = -100$ cm. ;

$f = \frac{-100}{6}$ cm.

সুতরাং, $m = \dfrac{f-v}{f} = \dfrac{\dfrac{-100}{6} - (-100)}{\dfrac{-100}{6}}$

$$\dfrac{\dfrac{500}{6}}{\dfrac{-100}{6}} = -5.$$

m-এর মানের সহিত এই ঋণাত্মক চিহ্ন নির্দেশ করে প্রতিবিম্বটি সৎ এবং বস্তু-সাপেক্ষে উল্টা।

(2) মনে কর, পূর্বোক্ত লেন্স দ্বারা সংগঠিত অসদ্‌বিম্বের দূরত্ব 100 cm.

এক্ষেত্রে, $v = 100$ cm. ;

$$f = \frac{-100}{6}.$$

সুতরাং, $m = \dfrac{f-v}{f} = \dfrac{\dfrac{-100}{6} - 100}{\dfrac{-100}{6}} = \dfrac{\dfrac{700}{6}}{\dfrac{100}{6}} = 7.$

m-এর মানের সহিত এই ধনাত্মক চিহ্ন নির্দেশ করে প্রতিবিম্ব অসৎ এবং বস্তু-সাপেক্ষে সোজা।

(3) মনে কর, একটি অবতল লেন্সের ফোকস-দূরত্ব 20 cm. এবং উহাদ্বারা সংগঠিত অসদ্‌বিম্বের দূরত্ব $\frac{20}{3}$ cm.

এক্ষেত্রে, $v = \frac{20}{3}$ cm. ;

$$f = 20 \text{ cm.}$$

সুতরাং, $m = \dfrac{f-v}{f} = \dfrac{20 - \frac{20}{3}}{20} = \dfrac{2}{3},$

অর্থাৎ প্রতিবিম্বটি বস্তুর দৈর্ঘ্যের $\frac{2}{3}$ অংশ।

6·9. লেন্সের ক্ষমতা (Power of a lens) :

লেন্স-অক্ষের সমান্তরাল একগুচ্ছ রশ্মিকে অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে অথবা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে রূপান্তরিত করিবার লেন্সের যে ক্ষমতা তাহাকেই সাধারণভাবে বলা হয় **লেন্সের ক্ষমতা** (অর্থাৎ power of convergence or divergence of a lens)।

অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের যত কাছে অক্ষে মিলিত হইবে এবং অপসারী রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের যত কাছের কোন অক্ষবিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া প্রতীয়মান হইবে, লেন্সের ক্ষমতা তত অধিক বিবেচিত হইবে। সুতরাং, এই হিসাবে ধরা হয় লেন্সের ক্ষমতা,

$$P = \frac{1}{f}. \quad (\text{এখানে, } f = \text{ফোকস-দূরত্ব})$$

লেন্সের ক্ষমতা প্রকাশ করিবার ব্যবহারিক এককে বলা হয় **ডায়পটর** (Dioptre)। সাধারণতঃ ইহা 'D' অক্ষর দ্বারা নির্দেশিত হয়। চোখের চশমার ক্ষমতা (Power) পরিমাপের ক্ষেত্রে এই ডায়পটর-একক ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

ডায়পটর-একক—যখন কোন লেন্সের ফোকস-দূরত্ব এক মিটার ধরা হয়, তখন ঐ লেন্সের ক্ষমতা (Power) এক ডায়পটর অর্থাৎ,

$$1D = \frac{1}{1 \text{ মিটার ফোকস-দূরত্ব}}।$$

ফোকস-দূরত্ব সেন্টিমিটারে দেওয়া থাকিলে ডায়পটর-এককে লেন্সের ক্ষমতা,

$$P = -\frac{100}{f}.$$

এখানে '−' চিহ্ন দেওয়ার কারণ এই—উত্তল লেন্সের ক্ষমতা ধরা হয় ধনাত্মক কিন্তু উহার ফোকস-দূরত্ব ঋণাত্মক, আবার অবতল লেন্সের ক্ষমতা ধরা হয় ঋণাত্মক কিন্তু উহার ফোকস-দূরত্ব ধনাত্মক।

উদাহরণ। 20 cm. ফোকস-দূরত্বের একটি লেন্সের ক্ষমতা ডায়পটর-এককে কত, যখন লেন্সটি (a) উত্তল ও (b) অবতল।

ডায়পটর-এককে লেন্সের ক্ষমতা, $P = -\frac{100}{f}.$

(a) লেন্সটি যখন উত্তল, ফোকস-দূরত্ব $f = -20$ cm.

সুতরাং, লেন্সের ক্ষমতা $P = -\frac{100}{-20} = +5D$ (ডায়পটর)।

(এক্ষেত্রে লেন্সটি অভিসারী এবং উহা ধনাত্মক ক্ষমতা-বিশিষ্ট।)

(b) লেন্সটি যখন অবতল, ফোকস-দূরত্ব $f = 20$ cm.

সুতরাং, লেন্সের ক্ষমতা $P = -\frac{100}{20} = -5D$ (ডায়পটর)।

(এক্ষেত্রে, '−' নির্দেশ করে যে লেন্সটি অপসারী এবং উহা ঋণাত্মক ক্ষমতা বিশিষ্ট।)

বিবিধ উদাহরণ

(1) 5 cm. দৈর্ঘ্যের একটি দণ্ড একখানা উত্তল লেন্সের সম্মুখে অবস্থিত। লেন্সের পিছনে 100 cm. দূরে একটি পর্দার উপর ঐ দণ্ডটির 25 cm. দৈর্ঘ্যের প্রতিবিম্ব সংগঠিত হয়। লেন্সটির ফোকস-দূরত্ব কত? [A rod 5 cm. long is held in front of a convex lens and forms an image 25 cm. long upon a screen held at a distance of 100 cm. behind the lens. What is the focal length of the lens ?]

এক্ষেত্রে, দণ্ডের দৈর্ঘ্য = 5 cm. ;

উহার প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য = 25 cm.

সংজ্ঞা অনুযায়ী,

রৈখিক বিবর্ধন, $m = \frac{\text{প্রতিবিম্ব-দৈর্ঘ্য}}{\text{বস্তু-দৈর্ঘ্য}}$

$= \frac{-25}{5} = -5$ [∵ লেন্সটি উত্তল এবং বস্তুর সদ্‌বিম্ব উল্টা]

আবার, $m = \frac{\text{প্রতিবিম্ব-দূরত্ব}}{\text{বস্তু-দূরত্ব}} = \frac{v}{u}$

সুতরাং, $-5 = \frac{-100}{u}$.

$\therefore \quad u = 20$ cm.

(এক্ষেত্রে প্রতিবিম্বটি সৎ এবং উহা লেন্সের পিছনে সংগঠিত হয়। সুতরাং, প্রতিবিম্বদ্বয়ের v-এর মান ঋণাত্মক হইবে।)

এখন, v এবং u-এর মান লেন্স-ফরমুলায় বসাইলে দেখিতে পাই—

$$-\frac{1}{100} - \frac{1}{20} = \frac{1}{f}$$

অথবা, $-\frac{6}{100} = \frac{1}{f}$

অথবা, $f = -16{\cdot}6$ cm.

(বিয়োগ-চিহ্ন নির্দেশ করে লেন্সটি উত্তল। যদি ফোকস-দূরত্ব আগেই বিয়োগ-চিহ্নিত করা হয়, তাহা হইলে, $f = 16{\cdot}6$ cm.। এই সংখ্যার সহিত বিয়োগ-চিহ্ন আসিবে না।)

(2) একটি অবতল লেন্সের ফোকস-দূরত্ব 20 cm.। উহার 10 cm. দূরত্বে 3 cm. দৈর্ঘ্যের একটি বস্তু স্থাপন করা হইল। এক্ষেত্রে প্রতিবিম্বটির দৈর্ঘ্য, প্রকৃতি এবং অবস্থান নির্ণয় কর। [An object 3 cm. long is placed at a distance of 10 cm. from a concave lens of focal length 20 cm. Find the size, the nature and the position of the image.]

এক্ষেত্রে, $u = 10$ cm. ;

$f = +20$ cm. ; (যেহেতু লেন্সটি অবতল)

বস্তু-দৈর্ঘ্য $= 3$ cm. ;

$v =$? (প্রতিবিম্ব-দূরত্ব—অর্থাৎ, অবস্থান) ;

প্রতিবিম্ব-দৈর্ঘ্য $=$?.

এখন লেন্সের সাধারণ ফরমুলা, $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

সুতরাং এক্ষেত্রে, $\frac{1}{v} - \frac{1}{10} = \frac{1}{20}$

অথবা, $\frac{1}{v} = \frac{1}{20} + \frac{1}{10} = \frac{3}{20}$

অথবা, $v = \frac{20}{3} = 6{\cdot}6$ cm. (আনুমানিক)

এক্ষেত্রে, v-এর মান ধনাত্মক। সুতরাং বস্তুর সহিত প্রতিবিম্ব লেন্সের একই পার্শ্বে অবস্থান করে এবং প্রতিবিম্ব অসৎ। আবার, আমরা জানি,

$$\frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য}}{\text{বস্তুর দৈর্ঘ্য}} = \frac{v}{u} = \frac{\frac{20}{3}}{10} = \frac{2}{3}.$$

সুতরাং, প্রতিবিম্বটির দৈর্ঘ্য $=$ বস্তুর দৈর্ঘ্য $\times \frac{2}{3} = 3 \times \frac{2}{3} = 2$ cm.

(3) 3 cm. ফোকস্-দূরত্বের একটি উত্তল লেন্সের পিছনে চক্ষু স্থাপন করিয়া ঐ লেন্সের সম্মুখে 2·5 cm. দূরত্বের কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব যে 6 গুণ বড় দেখায় অর্থাৎ লেন্সের বিবর্ধন ক্ষমতা যে 6 গুণ তাহা প্রমাণ কর। [Show that the image of an object at a distance of 2·5 cm. in front of a convex lens of focal length 3 cm., will appear six times magnified to an eye placed behind the lens, *i.e.*, show that the magnifying power is 6.]

এক্ষেত্রে, $u = 2{\cdot}5$ cm. ;
$f = -3$ cm. ;
$v = $? ;
$m = $?.

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f};$$

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} + \frac{1}{u} = -\frac{1}{3} + \frac{1}{2{\cdot}5} = \frac{-2{\cdot}5+3}{7{\cdot}5}$$

$$= \frac{{\cdot}5}{7{\cdot}5} = \frac{1}{15};$$

$$\therefore \quad v = 15 \text{ cm.};$$

$$m = \frac{v}{u} = \frac{15}{2{\cdot}5} = 6.$$

(4) $5D$ Power-এর একখানা উত্তল লেন্সের সম্মুখে 25 cm. দূরত্বে একটি বিন্দুপ্রভব অবস্থিত। ঐ প্রভব হইতে আগত অপসারী রশ্মিগুচ্ছ লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া লেন্সের পিছনে কতদূরে মিলিত হইবে তাহা নির্ণয় কর। [A point-source is situated at a distance of 25 cm. in front of a convex lens of Power $5D$. Calculate at what distance behind the lens the diverging pencil of rays from the source after refraction through the lens will converge to a point behind the lens.]

ডায়পটর-এককে লেন্সের Power-এর সংজ্ঞা অনুযায়ী,

লেন্সের ফোকস-দূরত্ব $f = \frac{1}{5}$ metre

$$= \frac{100}{5} = 20 \text{ cm.}$$

ইহা বিয়োগ-চিহ্ন দ্বারা চিহ্নিত করিতে হইবে, যেহেতু লেন্সটি উত্তল।

সুতরাং, অঙ্ক অনুযায়ী, $u = 25$ cm. ;
$f = -20$ cm. ;
$v = $?.

লেন্স-ফরমুলা অনুযায়ী, $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$.

সুতরাং, $$\frac{1}{v} - \frac{1}{25} = -\frac{1}{20}$$

অথবা, $$\frac{1}{v} = \frac{1}{25} - \frac{1}{20}$$

$$= -\frac{1}{100}.$$

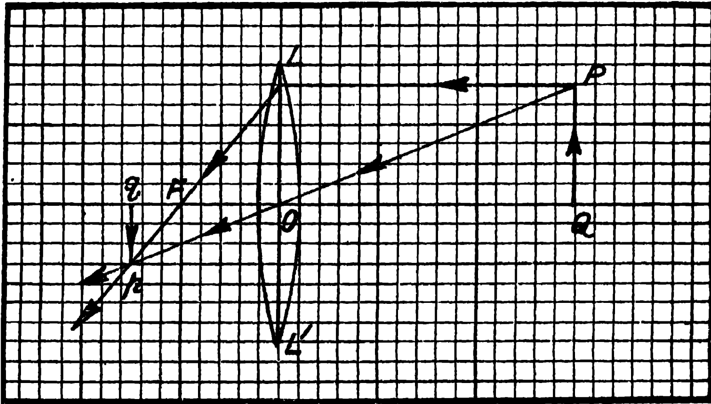
$$\therefore \quad v = -100 \text{ cm.}$$

সুতরাং, লেন্সে প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের পিছনে 100 cm. দূরত্বে মিলিত হইবে।

6·10. গ্রাফ-কাগজে (Graph-paper) অঙ্কনের সাহায্যে লেন্সের অঙ্কের সমাধান :

উদাহরণ। 6 cm. দৈর্ঘ্যের একটি বস্তু 5 cm. ফোকস-দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স হইতে 15 cm. দূরে অবস্থিত। বস্তুটির প্রতিবিম্বের অবস্থান, উহার দৈর্ঘ্য এবং রৈখিক বিবর্ধন গ্রাফ-কাগজে অঙ্কনের সাহায্যে নির্ণয় কর। [An object of length 6 cm. is held in front of a convex lens of focal length 5 cm. at a distance of 15 cm. Calculate the image distance, the length of the image and its linear magnification from construction on a graph-paper.]

মনে কর, 6M চিত্রের গ্রাফ-কাগজের প্রত্যেকটি ছোট ঘর এক সে.মি. নির্দেশ করে। গ্রাফ-কাগজের মাঝামাঝি স্থানে একটি মোটা ঊর্ধ্বাধঃ এবং একটি মোটা



চিত্র 6M

অনুভূমিক রেখা কল্পনা কর। এখন লেন্সটিকে গ্রাফ-কাগজের উপর এমনভাবে অঙ্কিত কর, যাহাতে লেন্সের কেন্দ্র O এই রেখা দুইটির ছেদবিন্দুতে অবস্থান করে (6M চিত্র দেখ)। অতঃপর লেন্সের কেন্দ্র O হইতে চিত্রের ডানদিকের 15টি ছোট ঘর গণনা করিয়া Q বিন্দু চিহ্নিত কর। আবার, এই Q বিন্দু হইতে লেন্স-অক্ষের উপরের দিকে 6 ঘর গণনা করিয়া P বিন্দু চিহ্নিত কর। এই PQ রেখা নির্দেশ করে 6 cm. দৈর্ঘ্য বা উচ্চতার একটি বস্তু। চিত্রের বাঁ-দিকের O বিন্দু হইতে 5টি ছোট ঘর গুনিয়া F বিন্দু চিহ্নিত কর। এক্ষেত্রে, OF নির্দেশ করে লেন্সের ফোকস-দূরত্ব, 5 cm.।

এখন পূর্ব্ববর্ণিত অঙ্কন-পদ্ধতি অনুসরণ করিয়া বস্তুটির সদ্‌বিম্ব pq অঙ্কন কর। চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায় যে, এই সদ্‌বিম্বের দৈর্ঘ্য তিনটি ছোট ঘরের সমান। সুতরাং, pq-এর দৈর্ঘ্য 3 cm. এবং উহা O বিন্দু হইতে $7\frac{1}{2}$ ঘর দূরে অবস্থিত। সুতরাং, লেন্স হইতে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব $v=7{\cdot}5$ cm. এবং উহার রৈখিক বিবর্ধন $(m)=\dfrac{pq}{PQ}=\dfrac{3\text{ cm.}}{6\text{ cm.}}=\dfrac{1}{2}$.

(এই প্রশ্নটির লেন্স-ফরমূলা সাহায্যেও সমাধান করিলে একই ফল পাওয়া যাইবে।)

6·11. লেন্স চিনিবার সহজ পদ্ধতি ঃ

কম উন্মেষের পাতলা কোন একটি লেন্স বাহির হইতে উত্তল কি অবতল তাহা বুঝা শক্ত। লেন্সটি উত্তল কি অবতল তাহা নিম্নলিখিত সহজ উপায়ে নির্ণয় করা সম্ভব হয়। লেন্সের একপৃষ্ঠের কাছাকাছি তোমার নিজের একটি আঙ্গুল স্থাপন কর এবং বিপরীত পৃষ্ঠ হইতে উহার দিকে তাকাও। যদি আঙ্গুলের প্রতিবিম্ব আঙ্গুল অপেক্ষা মোটা দেখিতে পাও তাহা হইলে বুঝিবে যে, লেন্সটি উত্তল এবং আঙ্গুলের প্রতিবিম্ব যদি সরু দেখিতে পাও তাহা হইলে বুঝিবে যে, লেন্সটি অবতল।

6·12. উত্তল লেন্সের ফোকস-দূরত্ব নির্ণয়ের বিভিন্ন পদ্ধতি ঃ

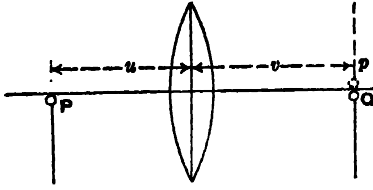
(i) **দ্রুত নির্ণয়-পদ্ধতি**—সূর্য অনেক দূরে অবস্থিত বলিয়া, আমরা একগুচ্ছ সূর্যরশ্মিকে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ হিসাবে ধরিয়া থাকি। পরীক্ষাধীন উত্তল লেন্সের এক পৃষ্ঠ সূর্যের দিকে ধরিয়া অপর পৃষ্ঠের সম্মুখে একখণ্ড সাদা কাগজ স্থাপন করিলে উহার উপর আলোকের ছাপ পড়িবে। অতঃপর কাগজখণ্ড লেন্স-পৃষ্ঠ হইতে দূরে সরাইতে থাক যেপর্যন্ত না আলোকের ছাপটি কেন্দ্রীভূত হইয়া অত্যধিক উজ্জ্বল দেখায়। এক্ষেত্রে এই উজ্জ্বল কেন্দ্রীভূত ছাপটি নির্দেশ করে লেন্সের ফোকস-তলে সংগঠিত সূর্যের ক্ষুদ্রাকৃতি সদ্‌বিম্ব। সুতরাং, লেন্স হইতে ইহার দূরত্ব নির্দেশ করে মোটামুটি ভাবে লেন্সটির ফোকস-দূরত্ব।

(ii) **U. V. পদ্ধতি** (u—v method)—এই পদ্ধতিতে লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব (u) এবং আনুষঙ্গিক প্রতিবিম্বের দূরত্ব (v) নির্দেশ করিয়া লেন্স-ফরমূলার সাহায্যে ফোকস-দূরত্ব নির্ণীত হইয়া থাকে।

সাধারণতঃ বস্তুর বিভিন্ন অবস্থানে উহার প্রতিবিম্বের দূরত্ব মাপিবার জন্য দুইটি পদ্ধতি অনুসৃত হইয়া থাকে ; যথা—(a) পিন-পদ্ধতি বা **লম্বন-পদ্ধতি** (Parallax method) এবং (b) **আলোক-বেঞ্চ পদ্ধতি** (Optical bench method)।

(a) **লম্বন-পদ্ধতি**—পরীক্ষাগারের টেবিলের উপর এক লাইনে উচ্চতা-নিয়ন্ত্রণ

ব্যবস্থা সংযুক্ত তিনটি খাড়া দণ্ড পর পর স্থাপন করা হয় (চিত্রে দণ্ডগুলি দেখানো হয় নাই)। উহাদের মধ্যের দণ্ডটির উপর পরীক্ষাধীন লেন্স এবং অপর দুইটির উপর দুইটি বড় পিন P ও Q (hair-pin) খাড়াভাবে বসাও (6N চিত্র)।

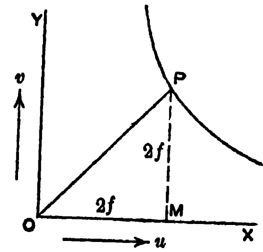


চিত্র 6N

এখন উচ্চতা-নিয়ন্ত্রণ ব্যবস্থার সাহায্যে লেন্সের কেন্দ্র এবং পিন দুইটির শীর্ষ একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থান করাও। অতঃপর P পিনটিকে লেন্স-পৃষ্ঠ হইতে এরূপ দূরত্বে রাখ, যাহার ফলে অপর পৃষ্ঠের সুবিধামতো দূরত্বে চক্ষু রাখিলে, P-এর উল্টা প্রতিবিম্ব 'p' পরিলক্ষিত হয়। p-এর বাস্তব অবস্থান নির্ণয়ের জন্য Q পিনটি উহার স্ট্যাণ্ড (stand)-সহ p স্পর্শ করাইয়া বসাও (6N চিত্র দেখ)। এরূপ ব্যবস্থায় চক্ষু এ-পাশ ও-পাশ করিলে p ও Q পরস্পর বিচ্ছিন্ন না হইয়া এ-পাশ ও-পাশ করিবে। ইহাকেই বলা হয় লম্বন-পদ্ধতিতে বাস্তব প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয়।

এখন লেন্স হইতে P-এর দূরত্ব এবং Q-এর দূরত্ব মাপ ; উহারা যথাক্রমে নির্দেশ করে বস্তু-দূরত্ব (u) এবং আনুষঙ্গিক প্রতিবিম্ব দূরত্ব (v)। এই পদ্ধতির পুনরাবৃত্তি করিয়া বিভিন্ন বস্তু-দূরত্ব ও আনুষঙ্গিক প্রতিবিম্ব-দূরত্ব নির্ণয় কর।

পরিশেষে 'u—v' লেখ (graph) অঙ্কন কর। উহার ভুজ OX নির্দেশ করে বস্তু-দূরত্ব (u) অক্ষ এবং কোটি OY নির্দেশ করে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব (v) অক্ষ। 6P চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, আনুষঙ্গিক লেখটি পরাবৃত্ত (hyperbola) আকার-বিশিষ্ট। এখন অক্ষ দুইটির মিলন-বিন্দু (origin) O হইতে ভুজের সহিত 45° কোণে OP রেখা অঙ্কন কর। উহা লেখটিকে P বিন্দুতে ছেদ করে। এক্ষেত্রে, P বিন্দুর কোটি $= PM =$ উহার ভুজ $= OM$, অর্থাৎ, $v = u$।



চিত্র 6P

যেহেতু প্রতিবিম্ব বাস্তব এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব ও বস্তু-দূরত্ব পরস্পর সমান, সুতরাং, এক্ষেত্রে লেন্স-ফরমুলা,

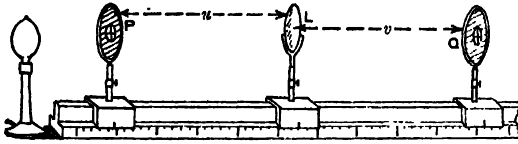
$$\frac{1}{u}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

অথবা, $$2f = u.$$

সুতরাং, $$f = \frac{u}{2}.$$

সুতরাং, লেথ হইতে OM নির্ণয় করিয়া উহার অর্ধেক লইলে, ফোকস-দূরত্ব নির্ণীত হয়।

(b) **আলোক-বেঞ্চ পদ্ধতি (Optical bench method)**—এক্ষেত্রেও 'u—v' পদ্ধতি অনুসৃত হইয়া থাকে। 6Q চিত্রে P নির্দেশ করে একটি আলোকিত ক্রস্ এবং Q নির্দেশ করে একটি সাদা পর্দা। P এবং Q-এর অবস্থানের অন্তর্বর্তী স্থানে একটি খাড়া দণ্ডের সহিত পরীক্ষাধীন উত্তল লেন্সটি এরূপভাবে স্থাপন করিতে হয়,



চিত্র 6Q

যাহাতে আলোকিত ক্রস্‌টির কেন্দ্র, উহার প্রতিবিম্বের কেন্দ্র এবং লেন্স-কেন্দ্র একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থান করে। এখন লেন্সটিকে P-এর কাছে এবং দূরে সরাইয়া প্রতিক্ষেত্রেই ক্রস্‌টির সদ্-প্রতিবিম্ব Q পর্দার উপর সংগঠন করাও এবং উহার বিভিন্ন অবস্থানে u এবং v মাপিয়া পূর্ববর্ণিত লেখ-সাহায্যে লেন্সটির ফোকস-দূরত্ব 'f' নির্ণয় কর।

সারাংশ

কোন প্রতিসারক মাধ্যমের (যেমন—কাচের) দুইটি পৃষ্ঠই গোলকাকৃতির অথবা একটি পৃষ্ঠ গোলকাকৃতির এবং অপর পৃষ্ঠটি সমতল হইলে, আমরা ঐ প্রতিসারক মাধ্যমকে লেন্স আখ্যা দিয়া থাকি। লেন্সকে সাধারণতঃ দুই শ্রেণীতে বিভক্ত করা হয়; যথা—(i) অবতল বা অপসারী লেন্স এবং (2) উত্তল বা অভিসারী লেন্স। অবতল লেন্সের সাহায্যে কেবল অসদ্‌বিম্ব সংগঠিত হয়। কিন্তু উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে বস্তুর অবস্থান অনুযায়ী বিভিন্ন প্রকৃতির প্রতিবিম্ব সংগঠিত হইয়া থাকে; যেমন—

(i) বস্তু অসীমে — প্রতিবিম্ব সৎ, উল্‌টা এবং আকারে অত্যধিক ছোট। উহা ফোকস-তলে সংগঠিত হয়।

(ii) বস্তু '$2f$' অপেক্ষা দূরে অবস্থিত — প্রতিবিম্ব সৎ, উল্‌টা এবং আকারে ছোট।

(iii) বস্তু 'f' এবং '$2f$' দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত — প্রতিবিম্ব সৎ, উল্‌টা এবং বস্তু অপেক্ষা আকারে বড়।

(iv) বস্তু 'f' দূরত্বে অবস্থিত — প্রতিবিম্ব অসীমে সংগঠিত হয়। কাজেই উহা সৎ হইলেও আমরা দেখিতে পাই না।

(v) বস্তু 'f' অপেক্ষা কম দূরত্বে অবস্থিত — প্রতিবিম্ব অসৎ, সোজা এবং বস্তুর আকার অপেক্ষা বৃহত্তর এবং উহা বস্তুসহ লেন্সের একই দিকে অবস্থান করে।

লেন্স-ফরমুলা, $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ দ্বারা বস্তু-দূরত্ব (u), প্রতিবিম্ব-দূরত্ব (v) এবং ফোকস-দূরত্ব (f)-এর পারস্পরিক সম্পর্ক নির্দেশিত হইয়া থাকে।

প্রতিবিম্বের রৈখিক বিবর্ধন $(m) = \frac{\text{প্রতিবিম্ব-দূরত্ব } (v)}{\text{বস্তু-দূরত্ব } (u)}$। উত্তল লেন্সের ফোকস-দূরত্ব (i) সূর্যরশ্মির সাহায্যে এবং (ii) 'u—v' পদ্ধতিতে নির্ণয় করা সম্ভব হয়।

প্রশ্নমালা

1. উপযুক্ত চিত্রাঙ্কনের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও, কেন উত্তল লেন্স এবং অবতল লেন্স সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে যথাক্রমে অভিসারী এবং অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত করে। [Explain with suitable diagrams why a convex lens and a concave lens make, respectively, a parallel pencil of rays convergent and divergent.]

2. উভ-উত্তল লেন্সে ব্যবহৃত নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা লিখ :—(i) আলোক-কেন্দ্র, (ii) মুখ্য ফোকস, (iii) ফোকস-দূরত্ব। অনুবন্ধী ফোকস-যুগল বলিতে কি বোঝ তাহা ব্যাখ্যা কর। [Define the following terms used in connection with a double convex lens :—(i) Optical centre, (ii) Principal focus and (iii) Focal length. Explain what is meant by 'Conjugate foci'.].

3. লেন্সে আলোকরশ্মি প্রতিসৃত হইলে কি প্রকারে সদ্‌বিম্ব সংগঠিত হইতে পারে তাহা চিত্রাঙ্কনের দ্বারা বুঝাইয়া লিখ এবং লেন্স সম্পর্কে $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ এই ফরমুলাটি নির্ণয় কর। [Draw a diagram showing the formation of a real image by refraction through a lens and obtain the relation, $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$, in connection with a lens.]

4. বস্তু-দূরত্ব, প্রতিবিম্ব-দূরত্ব এবং লেন্সের ফোকস-দূরত্বের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় কর। [Deduce a relation between the object distance, the image distance and the focal length of a lens.]

[H. S. Exam., 1960]

5. উত্তল লেন্স হইতে কোন বস্তু বিভিন্ন দূরত্বে রাখিয়া দিলে, বস্তুটির যে বিভিন্ন প্রকৃতির প্রতিবিম্ব সংগঠিত হয় তাহা উপযুক্ত চিত্রাঙ্কনের দ্বারা বুঝাইয়া দাও। [Explain with suitable diagrams the formation of images by a convex lens of an object placed at different distances from it.]

6. অবতল লেন্স দ্বারা কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব-সংগঠন চিত্রাঙ্কনের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও। [Explain with a suitable diagram the formation of image by means of a concave lens.]

7. 'u—v' পদ্ধতিতে উত্তল লেন্সের ফোকস-দূরত্ব কিভাবে নির্ণয় করা যায় তাহার বিবরণ দাও। [Describe 'u—v' method of determining the focal length of a convex lens.]

8. তোমাকে একখানি লেন্স দেওয়া হইল। ইহার দিকে তুমি তাকাইতে পার, কিন্তু উহার তল স্পর্শ করিতে পারিবে না। এরূপ অবস্থায় ঐ লেন্সটি উত্তল কি অবতল তাহা কি পরীক্ষার সাহায্যে নির্ণয় করিবে? [You are given a lens which you can look at but which you are not allowed to touch. What tests would you apply in order to determine whether it is concave or convex ?]

9. কোন উত্তল লেন্সের ফোকস-দূরত্বের দ্বিগুণ দূরে এক ইঞ্চি উচ্চতার একটি বস্তু স্থাপন করিলে, বস্তুটির প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি এবং আকার নির্ণয় কর। [Find the position, nature and size of the image of an object, 1 inch high, placed in front of a convex lens at a distance of twice the focal length of the lens.] [H. S. Exam., 1960]

10. একটি মোমবাতি দেওয়াল হইতে কিছুটা দূরে অবস্থিত। মোমবাতি এবং দেওয়ালের মধ্যে 20 cm. ফোকস-দূরত্বের একখানি উত্তল লেন্স কোন্‌স্থানে অবস্থান করাইলে, দেওয়ালের উপর মোমবাতির দ্বিগুণ সাইজের একটি সুস্পষ্ট প্রতিবিম্ব সংগঠিত হইবে? [A candle stands at some distance from a wall. In what position must a convex lens of focal length 20 cm. be placed so as to produce on the wall a distinct image of double the size of the candle ?] [*Ans.* $u = 30$ cm., $v = 60$ cm.]

11. 6 cm. ফোকস-দূরত্বের একটি উত্তল লেন্সের সাহায্যে কোন স্কেলের অংশাঙ্কন পাঠ করিবার সময় স্কেল-অংশাঙ্কনগুলি যদি 3 গুণ বড় দেখায়, তাহা হইলে স্কেলটি ঐ লেন্স হইতে কতদূরে বসানো প্রয়োজন হইবে তাহা নির্ণয় কর। [If a convex lens of 6 cm. focal length be used to read the graduations of

a scale magnified three times, find out at what distance from the scale it is to be held (the eye being close up to the lens).]

[*Ans.* 4 cm.]

12. এক ইঞ্চি ফোকস-দূরত্বের কোন উত্তল লেন্স হইতে কিরকম দূরে একটি বস্তু অবস্থান করাইলে, লেন্স হইতে এক ফুট দূরে নিম্নলিখিত প্রকারের প্রতিবিম্ব সংগঠিত হইবে : (a) প্রতিবিম্ব সৎ, (b) প্রতিবিম্ব অসৎ। [Where must an object be placed with respect to a convex lens of 1 inch focal length in order that (a) a real image, (b) a virtual image may be formed 1 foot away from the lens.] [*Ans.* (a) $\frac{12}{11}$ inch, (b) $\frac{12}{13}$ inch.]

13. 3 cm. উচ্চতার একটি বস্তু 5 cm. ফোকস-দূরত্বের একখানি উত্তল লেন্স হইতে 7·5 cm দূরে অবস্থিত। বস্তুটির প্রতিবিম্বের অবস্থান, উহার উচ্চতা এবং রৈখিক বিবর্ধন গ্রাফ-কাগজে অঙ্কনের সাহায্যে নির্ণয় কর। [An object of height 3 cm. is placed at a distance of 7·5 cm. from a convex lens of focal length 5 cm. Calculate the position of the image, its height and the linear magnification from construction on a graph-paper.]

[*Ans.* $v=15$ cm. ; height of the image $=6$ cm. ; and $m=2$]

14. 6 cm. দৈর্ঘ্যের একটি বস্তু 15 cm. ফোকস-দূরত্বের একখানি অবতল লেন্স হইতে 15 cm. দূরে অবস্থিত হইলে, বস্তুটির প্রতিবিম্বের অবস্থান, উহার উচ্চতা এবং রৈখিক বিবর্ধন নির্ণয় কর। [An object of height 6 cm. is placed at a distance of 15 cm. from a concave lens of focal length 15 cm. Calculate the position of the image, its height and linear magnification.] [*Ans.* $v=7·5$ cm. ; $m=\frac{1}{2}$]

15. একটি সূচী-ছিদ্র-ক্যামেরার সম্মুখে একটি দীপশিখা এমন দূরে অবস্থান করানো হইল যাহার ফলে 10 cm. দূরে অবস্থিত ক্যামেরার ঘষা-কাচের পর্দার উপর ঐ দীপশিখাটির অর্ধেক সাইজের উল্টা প্রতিকৃতি সংগঠিত হয়। এখন ক্যামেরার সূচী-ছিদ্রের স্থানে কার্ডবোর্ডটি ছিদ্র করিয়া এমন একটি উত্তল লেন্স বসানো হইল যাহাতে দীপশিখাটির ঘষা-কাচের পর্দার উপর অনুরূপ আকৃতির প্রতিবিম্ব সংগঠিত হয়। এক্ষেত্রে উত্তল লেন্সটির ফোকস-দূরত্ব কত হইবে তাহা নির্ণয় কর। [A lamp is held in front of a pin-hole camera to have an inverted image of half the size of the lamp on a ground-glass screen at a distance of 10 cm. from the hole. If now a convex lens is held in place of the pin-hole by

cutting the cardboard, a similar image as that of the pin-hole camera is formed on the ground-glass screen. Calculate the focal length of the convex lens used.] [*Ans.* 16 cm.].

[*Hints* : সূচী-ছিদ্র-ক্যামেরার ক্ষেত্রে,

$$\text{দীপশিখার দূরত্ব } (u) = \text{প্রতিবিম্বের দূরত্ব} \times \frac{\text{দীপশিখার আকৃতি}}{\text{প্রতিবিম্বের আকৃতি}}$$

$$= 10 \times 2 = 20 \text{ cm.}$$

এখন লেন্স-ফরমূলায় u এবং v-এর যথাযথ মান বসাইয়া f নির্ণয় করিতে হইবে।]

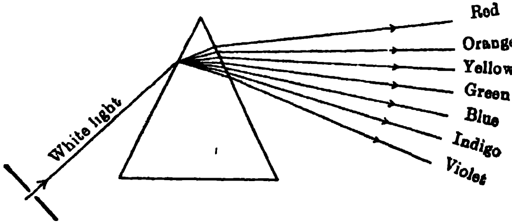
সপ্তম পরিচ্ছেদ

আলোকের বিচ্ছুরণ

(Dispersion of light)

7·1. আলোকের বিচ্ছুরণ : যখন কোন মিশ্রিত বর্ণের (composite light) একগুচ্ছ সঙ্কীর্ণ আলোকরশ্মি (যেমন—সূর্যের সাদা রশ্মি) এক মাধ্যম হইতে অপর মাধ্যমে প্রতিসৃত হয়, তখন ঐ প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ বিভিন্ন মৌল বর্ণের আলোক-রশ্মিতে বিভক্ত হইয়া যায়। মিশ্রিত আলোকরশ্মির এই বিশ্লেষণকে সাধারণ কথায় বলা হয় আলোকের **বিচ্ছুরণ** (dispersion)।

প্রায় তিনশত বৎসর পূর্বে প্রসিদ্ধ বিজ্ঞানী নিউটন প্রিজ্‌মের সাহায্যে সূর্যের সাদা আলোকের বিশ্লেষণ করিতে সমর্থ হইয়াছিলেন। 7A চিত্রে আলোকের এই বিশ্লেষণ দেখানো হইয়াছে। এক্ষেত্রে, একগুচ্ছ সঙ্কীর্ণ, সাদা সূর্যরশ্মি প্রিজ্‌ম্-তলে তির্যক্‌ভাবে আপতিত হইয়াছে। উহা প্রিজ্‌ম্ হইতে নির্গত হইয়া যখন কোন সাদা পর্দার উপর পতিত হয় তখন ঐ পর্দার উপর সাদা আলোকের ছাপের পরিবর্তে মোটামুটি সাতটি বর্ণের একটি রঙীন ছাপ পরিলক্ষিত হয়।



চিত্র 7A

এই রঙীন ছাপটি লক্ষ্য করিলে আমরা বুঝিতে পারি যে, সূর্যের সাদা রশ্মিগুচ্ছ প্রিজ্‌মের সাহায্যে সাতটি মৌল বর্ণের রশ্মিগুচ্ছে বিশ্লেষিত হইয়াছে। এই বিশ্লেষিত রশ্মির বর্ণগুলির ক্রমিক চ্যুতি (deviation) অনুযায়ী উহাদের ইংরাজীতে *VIBGYOR* (ভিব্‌জিওর) বলা হয়। এক্ষেত্রে, V—Violet (বেগনী রঙ), I—Indigo (গাঢ় নীল রঙ), B—Blue (নীল রঙ), G—Green (সবুজ রঙ), Y—Yellow (হরিদ্রা রঙ), O—Orange (কমলা রঙ) এবং R—Red (লাল রঙ)।

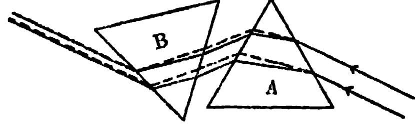
চিত্রদৃষ্টে বুঝা যায়, এই সাতটি রঙের মধ্যে বেগনী রশ্মির চ্যুতি সর্বাধিক এবং লাল রশ্মির চ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম। একারণে প্রিজ্‌মে বিচ্ছুরিত মিশ্রবর্ণের রশ্মির বেগনী রঙের রশ্মি প্রিজ্‌মের ভূমির দিকে সর্বাধিক বাঁকিয়া নির্গত হয় এবং লাল রঙের রশ্মি সর্বাপেক্ষা কম বাঁকিয়া নির্গত হয়। অপর কয়টি বর্ণের নির্গত রশ্মি—লাল ও বেগনী রশ্মির অন্তর্বর্তী স্থানে অবস্থান করে।

পর্দার উপর পাতিত এই সাত রঙের আলোকের ছাপটিকে বলা হয় **সূর্যের আলোকের বর্ণালী** (spectrum)।

7·2. পুনর্যোজন পদ্ধতিতে (Method of recomposition) সাদা আলোকের যৌগিক প্রকৃতি নির্ণয়ঃ নিম্নবর্ণিত পুনর্যোজন পদ্ধতি কয়টির সাহায্যে সাদা আলোকের যৌগিক প্রকৃতি দেখানো হইল।

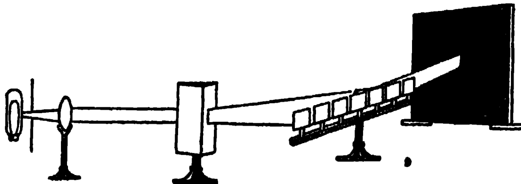
(a) নিউটন-এর (Newton) পরীক্ষা—উল্‌টাভাবে অবস্থিত একই প্রকারের দুইটি প্রিজ্‌মের সাহায্যে বিজ্ঞানী নিউটন বিচ্ছুরিত সাদা আলোকের পুনর্যোজন করিতে সমর্থ হইয়াছিলেন।

7B চিত্রে A এবং B একই প্রকার ও একই পদার্থ দ্বারা গঠিত দুইখানি প্রিজ্‌ম্ উল্‌টাভাবে পাশাপাশি বসানো আছে। একগুচ্ছ সমান্তরাল সঙ্কীর্ণ সূর্যের রশ্মি A প্রিজ্‌মে বিচ্ছুরিত হইয়া ঐ প্রিজ্‌মের ভূমির দিকে বাঁকিয়া নির্গত হইয়াছে। অতঃপর এই বিচ্ছুরিত রশ্মিগুলি B প্রিজ্‌মে প্রতিসৃত হইয়া উল্‌টাভাবে বিচ্যুত হয় এবং B প্রিজ্‌ম্ হইতে নির্গমন-কালে ঐ প্রিজ্‌মের ভূমির দিকে উহারা বাঁকিয়া যায়। ইহার ফলে B প্রিজ্‌ম্ হইতে নির্গত বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিগুলি পুনরায় মিলিত হইয়া সাদা আলোকে পরিণত হয়। সুতরাং B প্রিজ্‌মের নির্গমন-তলের দিকে একটি সাদা পর্দা রাখিলে, উহার উপর রঙীন ছাপের পরিবর্তে সাদা আলোকের একটি ছাপ পরিলক্ষিত হইবে। সাদা আলোক যে মিশ্র প্রকৃতির তাহা আলোকের এই পুনর্যোজন হইতে বুঝিতে পারা যায়।



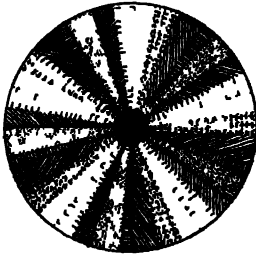
চিত্র 7B

(b) বিভিন্ন দর্পণের সাহায্যে পরীক্ষা—7C চিত্রে একটি ইলেক্‌ট্রিক বাতি হইতে একগুচ্ছ সঙ্কীর্ণ, সমান্তরাল, সাদা রশ্মি প্রিজ্‌মে আপতিত হইয়া সাতটি মৌল বর্ণে


চিত্র 7C

বিশ্লেষিত হইয়া প্রিজ্‌ম্ হইতে নির্গত হইয়াছে। এই মৌল বর্ণের সাতটি রশ্মিগুচ্ছ সাতটি দর্পণে এরূপভাবে প্রতিফলিত হইয়া থাকে যে, ঐ প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ পর্দায় একই স্থানে মিলিত হয়। এই অবস্থায় দেখিতে পাওয়া যায় যে, এই রঙীন রশ্মিগুলির

পুনর্যোজনায় পর্দার উপর একটি সাদা আলোকের ছাপের সৃষ্টি হইয়াছে। সাদা আলোক যে মিশ্র প্রকৃতির তাহা এই মৌল বর্ণের রশ্মিগুলির পুনর্যোজনা হইতে বুঝা যায়।



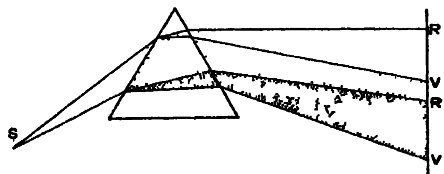
চিত্র 7D

(c) নিউটন-এর আলোক-চাকৃতির সাহায্যে পরীক্ষা—একখানি পুরু পিচ্‌বোর্ডের গোল চাকতি কয়েকটি সমান অংশে বিভক্ত কর। অতঃপর উহার প্রতিটি অংশ বর্ণালীর সাতটি রঙে এরূপভাবে চিত্রিত কর যাহাতে উহাদের পরিসর বর্ণালীতে অবস্থিত রঙগুলির পরিসরের সমানুপাতিক হয় এবং উহাদের ক্রমিক অবস্থান বর্ণালীর রঙের ক্রমিক অবস্থানের সদৃশ হয় (চিত্র 7D দ্রষ্টব্য)।

এখন এই রঙীন চাকৃতিটি দ্রুত ঘুরাইতে থাকিলে, উহা সামগ্রিকভাবে সাদা ধূসর বর্ণের দেখাইবে। চাকতিটি ঘুরিবার কালে উহার বিভিন্ন রঙীন অংশ হইতে প্রতিফলিত রশ্মি পর পর এরূপভাবে চক্ষুতে প্রবেশ করিতে থাকে যে, একটি রঙের অনুভূতি চলিয়া যাইবার পূর্বেই অপরাপর বর্ণের রশ্মিগুলি চক্ষুতে আসিয়া পড়ে। সুতরাং চাকৃতি হইতে প্রতিফলিত বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিগুলির যুগপৎ ক্রিয়ার ফলে চক্ষুতে সাদা আলোকের অনুভূতির সৃষ্টি হয়। এক্ষেত্রেও মৌল বর্ণের আলোকরশ্মিগুলির পুনর্যোজনা নির্দেশ করে সাদা আলোকের যৌগিক প্রকৃতি।

7·3. অশুদ্ধ ও শুদ্ধ বর্ণালী (Impure and Pure spectrum) :

অশুদ্ধ বর্ণালী—সাধারণতঃ কোন যৌগিক রশ্মিগুচ্ছ—যেমন সূর্যের সাদা রশ্মি—প্রিজ্‌ম্ দ্বারা যুগপৎ বিচ্ছুরিত ও বিচ্যুত হইয়া প্রিজ্‌ম্ তল হইতে নির্গত হইয়া চক্ষুতে কিম্বা সাদা পর্দায় যে বর্ণালী সৃষ্টি করে, উহাকে **অশুদ্ধ বর্ণালী** বলা হয়। ইহার কারণ, বর্ণালীর মৌল বর্ণগুলি সুস্পষ্ট দেখায় না এবং উহারা ক্রমিক অবস্থানে না থাকিয়া একে অন্যের নির্দিষ্ট স্থান অতিক্রমণ করে (7E চিত্র দ্রষ্টব্য)।



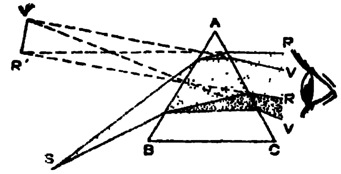
চিত্র 7E

শুদ্ধ বর্ণালী—যখন এরূপ ব্যবস্থা করা হয় যে, যৌগিক রশ্মিগুচ্ছ (যেমন—সূর্যরশ্মি) প্রিজ্‌ম্ দ্বারা বিচ্ছুরিত হইয়া যে বর্ণালী সৃষ্টি করে, উহার মৌল বর্ণগুলি সুস্পষ্টভাবে ক্রমিক অবস্থানে চক্ষুতে প্রতীয়মান হয় অথবা পর্দার উপর পাতিত হয়, তখন এই বর্ণালীকে **শুদ্ধ বর্ণালী** বলা হয়। এ-হিসাবে, শুদ্ধ বর্ণালী দুইপ্রকারের ; যথা—

(1) চক্ষুতে প্রতীয়মান শুদ্ধ বর্ণালী (Visual or Virtual pure spectrum) এবং
(2) পর্দায় পাতিত বা বাস্তব শুদ্ধ বর্ণালী (Real pure spectrum)।

1. **চক্ষুতে প্রতীয়মান বিশুদ্ধ বর্ণালী সংগঠন**—5·6 অনুচ্ছেদে আলোচিত হইয়াছে যে, কেবল ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে কোন প্রিজ্‌ম্ স্থাপন করিলে, উহাদ্বারা কোন প্রভবের প্রতিবিম্ব সংগঠিত হইতে পারে এবং প্রতিবিম্বের সংজ্ঞা অনুযায়ী ইহা প্রভবের অসদ্‌বিম্ব। সুতরাং কোন প্রভব হইতে আগত একগুচ্ছ সঙ্কীর্ণ সাদা রশ্মি ন্যূনতম চ্যুতিতে অবস্থিত প্রিজ্‌ম্ দ্বারা বিচ্ছুরিত হইয়া নির্গত হইলে, চক্ষুতে প্রতীয়মান হইবে যে প্রভবের সাতটি মৌল বর্ণের অসদ্‌বিম্ব সংগঠিত হইয়াছে। এই অসদ্‌বিম্ব কয়টির সমষ্টি নির্দেশ করে চক্ষুতে প্রতীয়মান সাদা আলোকের বিশুদ্ধ বর্ণালী।

7F চিত্রে, 'S' নির্দেশ করে খাড়াভাবে অবস্থিত সঙ্কীর্ণ আয়তাকার রন্ধ্র। উহা হইতে আগত একগুচ্ছ সাদা রশ্মি ন্যূনতম চ্যুতিতে অবস্থিত ABC প্রিজ্‌মে বিচ্ছুরিত হইয়া AC তল হইতে নির্গত হইয়াছে। এক্ষেত্রে, AC তলের দিকে চক্ষু স্থাপন করিলে প্রতীয়মান হইবে S-এর সাতটি অসদ্‌বিম্ব $V'R'$-এ সংগঠিত হইয়াছে, এবং উহারা VIBGYOR রঙের ক্রমিক অবস্থানে সংগঠিত হইয়া থাকে। এই রঙীন প্রতিবিম্ব কয়টির সমষ্টি নির্দেশ করে চক্ষুতে প্রতীয়মান সাদা আলোকের বিশুদ্ধ বর্ণালী।

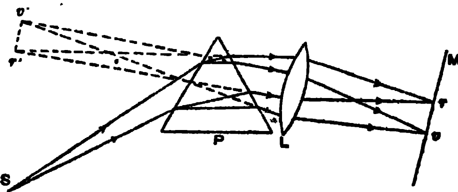


চিত্র 7F

2. **বাস্তব বিশুদ্ধ বর্ণালী সংগঠন**—বাস্তব বিশুদ্ধ বর্ণালী সংগঠনকালে প্রিজ্‌মের সহিত এক বা একাধিক উত্তল লেন্স ব্যবহার করার প্রযোজন হইয়া থাকে।

বর্তমানে দুইটি পদ্ধতি আলোচিত হইল :

(i) **প্রথম পদ্ধতি**—এই পদ্ধতিতে আলোকিত সঙ্কীর্ণ রন্ধ্র, প্রিজ্‌ম্, উত্তল লেন্স এবং সাদা পর্দা পর পর স্থাপন করিয়া পর্দার উপর সাদা আলোকের বিশুদ্ধ বর্ণালী সংগঠন করা হয়। 7G (i) চিত্রে, S নির্দেশ করে খাড়াভাবে অবস্থিত আয়তাকার সঙ্কীর্ণ রন্ধ্র, P নির্দেশ করে ন্যূনতম চ্যুতিতে অবস্থিত প্রিজ্‌ম্, L নির্দেশ করে উত্তল লেন্স এবং M নির্দেশ করে সাদা পর্দা।

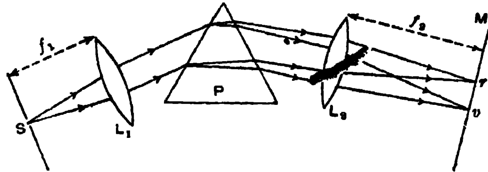


চিত্র

এক্ষেত্রে, S হইতে আগত একগুচ্ছ সঙ্কীর্ণ সাদা রশ্মি প্রিজ্‌ম্ দ্বারা বিচ্ছুরিত

হওয়ায় আনুষঙ্গিক মৌল বর্ণের রশ্মিগুচ্ছগুলি ন্যূনতম চ্যুতিতে নির্গত হয় এবং *r'v'* বিশুদ্ধ অসদ্‌বর্ণালী সৃষ্টি করে (চিত্র দেখ)। লেন্সটি প্রিজ্‌ম্‌ ও পর্দার অন্তর্বর্তী এরূপ অবস্থানে রাখা হইয়াছে, যাহার ফলে *r'v'*-এর সদ্‌বিম্ব পর্দায় কেন্দ্রীভূত হইয়া *rv* বিশুদ্ধ সদ্‌বর্ণালী সংগঠন করে। 7G(i) চিত্রে রশ্মিরেখা-অঙ্কনে এইপ্রকারের বর্ণালী-সংগঠন দেখানো হইয়াছে।

(ii) **দ্বিতীয় পদ্ধতি**—এই পদ্ধতিতে দুইটি উত্তল লেন্স ব্যবহৃত হইয়া থাকে। প্রথম লেন্সটি L_1, উহার প্রথম ফোকস-দূরত্বে (f_1) অবস্থিত S রন্ধ্র হইতে আগত অপসারী সঙ্কীর্ণ সাদা রশ্মিগুচ্ছকে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিণত করে এবং দ্বিতীয় লেন্স L_2 প্রিজ্‌ম্‌ হইতে নির্গত বিভিন্ন মৌল বর্ণের সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছগুলিকে পৃথক পৃথক ভাবে কেন্দ্রীভূত করিয়া পর্দার উপর বিশুদ্ধ সদ্‌বর্ণালী সংগঠন করে [7G(ii) চিত্র দেখ]।



চিত্র 7G (ii)

7G(ii) চিত্রে, রশ্মিরেখা-অঙ্কনে এই বর্ণালী-সংগঠন দেখানো হইল। প্রিজ্‌ম্‌টি ন্যূনতম চ্যুতিতে অবস্থান করায় সাদা সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রিজ্‌ম্‌ দ্বারা বিচ্ছুরিত হইয়া বিভিন্ন মৌল বর্ণের সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হইয়া প্রিজ্‌ম্‌ হইতে নির্গত হয়। সুতরাং L_2 লেন্সটি উহার ফোকস-তলে অবস্থিত M পর্দার উপর সদ্‌বর্ণালী সংগঠন করে।

7·4. বাস্তব বর্ণালী সংগঠনের আবশ্যকীয় শর্ত :

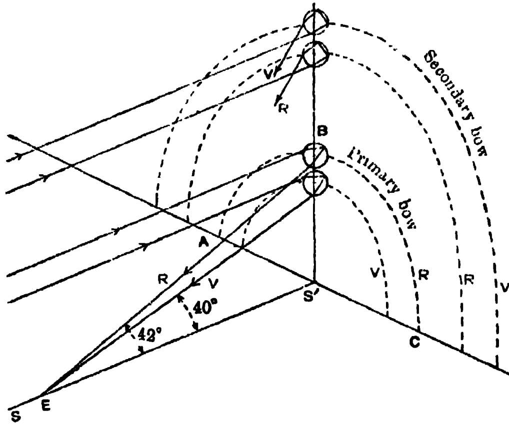
(i) আলোকের রন্ধ্রপথটি সঙ্কীর্ণ হওয়া প্রয়োজন, অন্যথায় প্রিজ্‌ম্‌ হইতে নির্গত বিভিন্ন বর্ণের রশ্মি একে অন্যের নির্দিষ্ট স্থানে ছড়াইয়া পড়ে এবং অশুদ্ধ বর্ণালীর সৃষ্টি করে।

(ii) প্রিজ্‌ম্‌টিকে ন্যূনতম চ্যুতিতে বসানো প্রয়োজন। ইহার ফলে, মৌল বর্ণের রশ্মিগুচ্ছগুলি ন্যূনতম চ্যুতিতে নির্গত হইবে এবং বর্ণালীটি অল্প স্থান জুড়িয়া সুস্পষ্টভাবে পর্দায় অবস্থান করিবে।

(iii) অন্ততঃপক্ষে একখানা উত্তল লেন্স আলোকপথের সুবিধামতো স্থানে স্থাপন করিতে হইবে। ইহার ফলে, মৌল বর্ণের রশ্মিগুচ্ছগুলি পৃথক পৃথক ভাবে পর্দায় কেন্দ্রীভূত হইয়া শুদ্ধ বাস্তব বর্ণালীর সৃষ্টি করে।

7·5. রামধনু (Rainbow)ঃ সকালে পূবের আকাশ যখন মেঘমুক্ত থাকে এবং পশ্চিমদিকে বৃষ্টিপাত হয় কিংবা বিকালে পশ্চিমের আকাশ যখন মেঘমুক্ত থাকে এবং পূর্বদিকে বৃষ্টিপাত হয় তখন অনেকসময় সকালের দিকে পশ্চিমের আকাশে এবং বিকালের দিকে পূবের আকাশে ধনুকের ন্যায় বাঁকানো বর্ণালীর বিভিন্ন রঙে রঞ্জিত যে সাতটি বৃত্তচাপ দেখিতে পাওয়া যায়, তাহাকে সামগ্রিকভাবে আমরা রামধনু বলিয়া থাকি। রামধনু দেখিতে গেলে দর্শককে প্রতিসময়ই সূর্যের দিকে পিছন ফিরিয়া দাঁড়াইতে হয়। সূর্য দিগন্তরেখার (horizon) যত কাছাকাছি থাকে, রামধনুর বৃত্ত-চাপের পরিসর তত অধিক হয়। সুতরাং বেলাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে পশ্চিমের আকাশে রামধনু ক্রমশঃ বিলীন হইতে থাকে।

রামধনু একাধিক প্রকারের, কিন্তু সচরাচর দুইটি গোষ্ঠীর রামধনু দৃষ্টিগোচর হয়। প্রথম গোষ্ঠীর রামধনুকে বলা হয় **প্রাথমিক** বা **মুখ্য রামধনু** (Primary bow) এবং দ্বিতীয় গোষ্ঠীর রামধনুকে বলা হয় **গৌণ রামধনু** (Secondary bow)। প্রাথমিক রামধনুর প্রতিটি রঙের বৃত্তচাপ সুস্পষ্ট দেখায়। ইহার বাহিরের চাপটি লাল



চিত্র 7H

রঙের (R) এবং ভিতরের চাপটি বেগনী রঙের (V)। অন্যান্য রঙীন চাপগুলি VIBGYOR রঙের ক্রমিক পর্যায়ে অবস্থিত (7H চিত্র দেখ)। এই রামধনুটির উপরের দিকে গৌণ রামধনু অপেক্ষাকৃত অস্পষ্টভাবে অবস্থান করে। এই গোষ্ঠীর রামধনুতে রঙীন চাপগুলির ক্রমিক অবস্থান মুখ্য রামধনুর ঠিক বিপরীত।

রামধনুর উৎপত্তি—বৃষ্টিকণার দ্বারা সূর্যরশ্মির যুগপৎ প্রতিসরণ, বিচ্ছুরণ এবং আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনে রামধনুর সৃষ্টি হইয়া থাকে। প্রাথমিক রামধনু-সংগঠনকালে বৃষ্টিকণায় সূর্যরশ্মি এরূপভাবে আপতিত হয় যে, উহার কেবল একবার আভ্যন্তরীণ

প্রতিফলন হইয়া থাকে এবং গৌণ রামধনু-সংগঠনকালে জলকণায় সূর্যরশ্মির দুইবার আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন সংঘটিত হইয়া থাকে (7H চিত্র দেখ)।

প্রাথমিক রামধনুর প্রতিটি রঙের বৃত্তচাপ-সংগঠনকালে, উহাতে অবস্থিত জলকণাগুলির উপর সূর্যরশ্মি এরূপভাবে আপতিত হওয়া প্রয়োজন যাহাতে উহা যুগপৎ প্রতিসৃত, বিচ্ছুরিত ও একবার আভ্যন্তরীণ প্রতিফলিত হইয়া নির্গত হয় এবং আনুষঙ্গিক বৃত্তচাপের রঙের রশ্মি চক্ষুতে প্রবেশ কবিযা বৃত্তচাপটিকে দৃষ্টিগোচর করায়। যেমন—লাল রঙের বৃত্তচাপের ক্ষেত্রে, বৃষ্টিকণাগুলি হইতে নির্গত বিভিন্ন বর্ণের রশ্মির মধ্যে মাত্র লাল রশ্মিগুচ্ছ নির্দিষ্ট আনত কোণে চক্ষুতে প্রবেশ করিযা লাল বৃত্তচাপটিকে দৃষ্টিপথে আনিয়া দেয়।

গৌণ রামধনুর ক্ষেত্রে, যে-কোন রঙেব বৃত্তচাপের উপর অবস্থিত জলকণাগুলির উপর সূর্যরশ্মি এরূপভাবে আপতিত হয যে উহা যুগপৎ প্রতিসৃত, বিচ্ছুবিত এবং পর পব দুইবার আভ্যন্তরীণ প্রতিফলিত হইযা নির্গত হয। পরিশেষে যে রঙের বৃত্তচাপের উপর জলকণাগুলি অবস্থান করে, ঐ রঙের নির্গত রশ্মি চক্ষুতে প্রবেশ করিযা আনুষঙ্গিক বৃত্তচাপটি দৃষ্টিপথে আনিয়া দেয়।

প্রমাণিত হইযাছে যে, প্রাথমিক রামধনুর ক্ষেত্রে বৃত্তচাপগুলি ভূমিতলেব সহিত আনুমানিক 40 এবং 42 ডিগ্রী কোণে অবস্থান কবে।

সারাংশ

কোন মিশ্রিত বর্ণের আলোকরশ্মির—যেমন, সাদা রশ্মির আনুষঙ্গিক বিভিন্ন মৌল বর্ণগুলিতে বিশ্লেষিত হওযাকে বলা হয আলোকের বিচ্ছুরণ। প্রিজ্‌মের সাহায্যে সাদা আলোকের এই বিচ্ছুরণ সুবিধামতো দেখানো সম্ভব। সাদা রশ্মি, যেমন সূর্যরশ্মি প্রধানতঃ সাতটি বিভিন্ন রঙের সমষ্টি। এই রঙগুলির সাঙ্কেতিক নাম VIBGYOR। সাদা আলোকের বিশ্লেষণ এবং বিভিন্ন উপায়ে পুনর্যোজন নির্দেশ করে সাদা আলোকের যৌগিক প্রকৃতি।

প্রিজ্‌ম্ দ্বারা সাদা আলোকরশ্মি বিচ্ছুরিত এবং নির্গত হইয়া পর্দার উপরে যখন একটি রঙীন ছাপের সৃষ্টি করে, তখন ঐ ছাপটিকে সাধারণভাবে বলা হয় সাদা আলোকের বর্ণালী।

যে বর্ণালীতে বিভিন্ন বর্ণগুলি নিজ নিজ স্থানে না থাকিয়া একে অন্যের স্থান জুড়িয়া অবস্থান করে, তাহাকে অশুদ্ধ বর্ণালী বলে। যে বর্ণালীতে বিভিন্ন বর্ণগুলি নিজ নিজ স্থানে অবস্থান করিয়া পৃথক পৃথক ভাবে সুস্পষ্ট দেখায়, তাহাকে বিশুদ্ধ বর্ণালী বলে।

প্রিজ্‌ম্ এবং এক বা একাধিক উত্তল লেন্সের সাহায্যে বিশুদ্ধ বর্ণালী সংগঠন করা সম্ভব হয়।